



# isec

## Engenharia

MESTRADO EM INSTRUMENTAÇÃO  
BIOMÉDICA

**Manutenção de Equipamentos de  
Fisioterapia: Estágio na Empresa  
Medicineto**

Autor

**David Alexandre Carvalho Silva**

Orientadores

**Professor Frederico Miguel Santos**

**Professor Victor Daniel Neto dos Santos**

INSTITUTO POLITÉCNICO DE  
COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA

Coimbra, dezembro, 2021



# isec

## Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
ELETROTÉCNICA

### **Manutenção de Equipamentos de Fisioterapia: Estágio na Empresa Medicineto**

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do  
grau de Mestre em Instrumentação Biomédica

Autor

**David Alexandre Carvalho Silva**

Orientadores

**Professor Frederico Miguel do Céu Marques dos Santos**

**Professor Victor Daniel Neto dos Santos**

Supervisor na empresa Medicineto

**Sérgio Miguel Pereira dos Santos**

INSTITUTO POLITÉCNICO DE  
COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA

Coimbra, dezembro, 2021

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho encerra um capítulo muito importante e por isso não podia deixar de agradecer àqueles que me ajudaram neste percurso.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a todos os colaboradores da empresa Medicineto que sempre foram acolhedores e prestáveis durante os seis meses de estágio. Desde o primeiro ao último dia fui sempre tratado como um membro da equipa, com valor e respeito e tive sempre o apoio necessário para que fosse uma experiência enriquecedora e formativa. Gostaria de deixar um agradecimento especial ao Sérgio Santos por me ter aceitado na sua empresa, contribuindo para o meu crescimento profissional e pessoal, por toda a disponibilidade e ensinamentos ao longo do estágio. Gostaria também de agradecer ao técnico de manutenção Luís Esperança, com quem passei a maior parte do tempo de estágio e que sempre se mostrou disponível para me ensinar tudo o que sabe.

Em segundo lugar, quero agradecer aos meus orientadores, o Doutor Frederico Miguel do Céu Marques dos Santos e o Doutor. Victor Daniel Neto dos Santos por me guiarem durante todo este percurso. A escrita e formatação deste relatório de estágio requereu muito esforço e dedicação de todos para que o mesmo fosse concluído com sucesso, sendo a sua cooperação essencial.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer à minha família e amigos pelo apoio incondicional ao longo deste percurso e de toda a vida. Não há palavras que descrevam a importância da vossa contribuição para o meu sucesso. Muito obrigado a todos.



## RESUMO

O presente relatório documenta o conhecimento adquirido e as tarefas de manutenção preventiva e corretiva realizadas durante o período de estágio na empresa Medicineto. Este estágio surgiu da necessidade de complementar a equipa de manutenção de equipamentos médicos da empresa devido ao aumento do volume de trabalho.

Para a realização destas tarefas foi necessário conhecer as características técnicas desses equipamentos médicos, o objetivo e efeitos da sua utilização no corpo humano para fins terapêuticos. Assim sendo, foi realizada uma análise detalhada do funcionamento dos equipamentos médicos com que a Medicineto mais trabalha, das tecnologias associadas aos mesmos e dos efeitos fisiológicos resultantes da sua utilização. Para além disso, foi também necessário compreender os principais conceitos de manutenção de equipamentos.

De forma a auxiliar a empresa no processo de certificação, foram analisadas algumas normas de manutenção que estão diretamente relacionadas com a área de atividade da empresa. Nomeadamente a norma IEC 60601, que diz respeito à regulamentação dos aspetos de segurança elétrica e mecânica de equipamentos e sistemas elétricos médicos e a norma IEC 62353, que define os requisitos para testes de segurança elétrica de equipamentos e sistemas elétricos médicos durante e após ações de manutenção.

Neste documento são também descritas algumas das avarias mais frequentes dos equipamentos médicos mais representativos com os quais a Medicineto mais trabalha e as atividades de manutenção preventiva e corretiva necessárias. São analisadas intervenções realizadas a equipamentos de ultrassom, equipamentos de eletroterapia, hidrocoletores e também outros equipamentos não médicos utilizados em fisioterapia.

Com base no trabalho realizado são apresentadas algumas sugestões de melhorias que a Medicineto poderá ter em consideração caso as considere úteis para o futuro da empresa.

**Palavras-chave:** Equipamentos de Fisioterapia; Manutenção Preventiva; Manutenção Corretiva; Normas de Manutenção.



## ABSTRACT

The purpose of this report is to document the knowledge acquired and the preventive and corrective maintenance tasks performed during the internship period at Medicineto. This internship arose from the need to complement the company's medical equipment maintenance team due to the increase in workload.

To perform these tasks, it was necessary to know the technical characteristics of this medical equipment, the purpose and effects of its use in the human body for therapeutic purposes. Therefore, a detailed analysis was made of the operation of the medical equipment Medicineto works with most, the technologies associated with them, and the physiological effects resulting from their use. In addition, it was also necessary to understand the main concepts of equipment maintenance.

In order to assist the company in the certification process, some maintenance standards that are directly related to the company's area of activity were analyzed. Namely the IEC 60601 standard, which concerns the regulation of electrical and mechanical safety aspects of medical equipment and electrical systems, and the IEC 62353 standard, which defines the requirements for electrical safety tests of medical equipment and electrical systems during and after maintenance actions.

This document describes some of the most recurrent malfunctions of some of the medical equipment with which Medicineto works most and the preventive and corrective maintenance activities in order to avoid or solve them. Interventions performed on ultrasound equipment, electrotherapy equipment, hydrocollectors and other non-medical equipment used in physiotherapy are analyzed.

Based on the work done, some suggestions for improvements are presented that Medicineto may take into consideration if it considers them useful for the future of the company.

**Keywords:** Physiotherapy Equipment; Preventive Maintenance; Corrective Maintenance; Maintenance Standards.



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento e Motivação .....	1
1.2	Empresa de Acolhimento .....	1
1.3	Objetivos .....	2
1.4	Súmula das Principais Atividades Realizadas .....	3
1.5	Estrutura do Relatório .....	4
<b>2</b>	<b>ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>5</b>
2.1	Ultrassons .....	6
2.1.1	Funcionamento e utilização do equipamento de ultrassom .....	6
2.1.2	Efeitos do ultrassom terapêutico.....	8
2.2	Eletroterapia .....	11
2.2.1	Funcionamento de equipamentos de eletroterapia.....	11
2.2.2	Modalidades de eletroterapia e efeitos terapêuticos .....	14
2.2.2.1	TENS .....	14
2.2.2.2	Correntes Galvânicas .....	17
2.2.2.3	Correntes Interferenciais .....	18
2.3	Terapia Laser .....	20
2.3.1	Equipamento de Terapia Laser .....	20
2.3.2	Efeitos terapêuticos do LLL .....	22
2.4	Termoterapia .....	24
2.5	Deep Oscillation®.....	25
2.6	Conclusão do Capítulo .....	28
<b>3</b>	<b>MANUTENÇÃO.....</b>	<b>29</b>
3.1	Manutenção – Definições Gerais .....	29
3.1.1	Manutenção Preventiva .....	29
3.1.2	Manutenção Corretiva .....	30
3.2	Ciclo de Vida de um Equipamento.....	32
3.3	Normas Aplicáveis a Equipamentos Médicos.....	32
3.3.1	Norma IEC 60601.....	33
3.3.1.1	Norma IEC 60601-1.....	34
3.3.1.2	Norma IEC 60601-1-2.....	37
3.3.1.3	Norma IEC 60601-2-5.....	37
3.3.2	Norma IEC 62353.....	38
3.3.2.1	Inspeção Visual.....	39
3.3.2.2	Teste da ligação à terra.....	39
3.3.2.3	Teste de Resistência de isolamento .....	41
3.3.2.4	Medição de correntes de fuga.....	43

3.4	Conclusão do Capítulo.....	50
<b>4</b>	<b>INTERVENÇÕES REALIZADAS .....</b>	<b>51</b>
4.1	Tarefas de Manutenção Preventiva.....	51
4.1.1	Relatório de manutenção preventiva.....	51
4.1.2	Equipamento de Ultrassons – PHYSIOSON-Expert .....	52
4.1.3	Equipamento de Eletroterapia – IF-Expert .....	53
4.1.4	Hidrocoletor – Chattanooga SS-2 .....	55
4.1.5	Intervenções realizadas a equipamentos não médicos .....	56
4.2	Tarefas de Manutenção Corretiva.....	59
4.2.1	Reparação de Transdutor de Ultrassons.....	59
4.2.2	Reparação do Equipamento IONOSON-Expert .....	60
4.2.2.1	Avaria dos transístores de saída.....	61
4.2.2.2	Avaria dos potenciômetros .....	62
4.2.2.3	Avaria de componentes da fonte de alimentação do circuito .....	63
4.3	Conclusão do Capítulo.....	64
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>
5.1	Propostas de Melhoria .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Logótipo da empresa Medicineto.....	2
Figura 2 – Súmula das atividades realizadas .....	3
Figura 3 – Diagrama com as frequências sonoras .....	6
Figura 4 – Equipamento de ultrassom terapêutico PHYSIOSON- Expert.....	7
Figura 5 – Transdutor de ultrassom.....	7
Figura 6 – Diagrama de blocos do funcionamento de um equipamento de ultrassom.....	7
Figura 7 – Cavitação estável .....	9
Figura 8 – Cavitação instável .....	9
Figura 9 – Fluxo acústico .....	10
Figura 10 – Tratamento com o auxílio do gel .....	10
Figura 11 – Equipamento de TENS Schwa-Medico EMS4 Pro.....	12
Figura 12 – Equipamento de eletroterapia PHYSIOMED-Expert .....	12
Figura 13 – Acessórios de equipamento de eletroterapia: cabos, elétrodos e esponjas.....	13
Figura 14 – Diagrama de blocos do funcionamento de um equipamento de eletroterapia .....	13
Figura 15 – Forma de onda de TENS .....	14
Figura 16 – Equipamento padrão de TENS e características do sinal.....	15
Figura 17 – Tratamento com TENS convencional/ intenso .....	15
Figura 18 – Tratamento com AL-TENS.....	16
Figura 19 – Efeitos da aplicação de TENS convencional e AL-TENS .....	17
Figura 20 – Iontoforese .....	18
Figura 21 – Correntes interferenciais .....	18
Figura 22 – Modulação e forma de onda de correntes interferenciais.....	19
Figura 23 – Tratamento com correntes interferenciais.....	20
Figura 24 – Equipamento de terapia laser LAS-Expert e caneta laser .....	21
Figura 25 – Caneta laser .....	21
Figura 26 – Chuveiro laser .....	21
Figura 27 – Diagrama de blocos de equipamento de terapia laser .....	22
Figura 28 – Mecanismos de LLL nos tecidos .....	23
Figura 29 – Tratamento de LLL .....	23
Figura 30 – Equipamento de Ondas Curtas PHYSIOTHERM-S .....	24
Figura 31 – Equipamento de Micro-Ondas PHYSIOTHERM-M.....	25
Figura 32 – Atuação do Deep Oscillation® .....	26
Figura 33 – Deep Oscillation® e acessórios .....	26
Figura 34 – Realização de tratamento com Deep Oscillation® .....	27
Figura 35 – Tratamento com Deep Oscillation® utilizando luvas .....	27
Figura 36 – Esquema geral dos tipos de manutenção.....	29
Figura 37 – Fluxograma do processo de manutenção corretiva .....	31
Figura 38 – Taxa genérica de avarias de um equipamento.....	32
Figura 39 – Norma IEC 60601 .....	34

Figura 40 – Símbolos Gerais.....	35
Figura 41 – Circuito do dispositivo de medição MD.....	36
Figura 42 – Sequência de teste de um equipamento EM.....	38
Figura 43 – Esquema de teste de ligação à terra.....	40
Figura 44 – Teste de isolamento entre a alimentação e a terra (Classe I).....	41
Figura 45 – Teste de isolamento entre alimentação e carcaça (Classes I e II).....	42
Figura 46 – Teste de isolamento entre as partes aplicadas e a terra (Classe I).....	42
Figura 47 – Teste de isolamento entre as partes aplicadas e a carcaça (Classes I e II).....	42
Figura 48 – Teste de isolamento entre as partes aplicadas e alimentação.....	43
Figura 49 – Medição de corrente de fuga pelo método direto nos equipamentos de Classe I e de Classe II.....	44
Figura 50 – Medição de correntes de fuga de partes aplicadas pelo método direto em equipamentos de Classe I e II.....	45
Figura 51 – Medição de corrente de fuga pelo método diferencial nos equipamentos de Classe I e de Classe II.....	46
Figura 52 – Exemplo de circuito de alimentação de corrente limitada para medição de correntes de fuga pelo método alternativo.....	48
Figura 53 – Medição de corrente de fuga pelo método alternativo nos equipamentos de Classe I e de Classe II.....	48
Figura 54 – Medição de correntes de fuga de partes aplicadas pelo método alternativo em equipamentos de Classe I e II.....	49
Figura 55 – Ficha de manutenção preventiva.....	52
Figura 56 – PHYSIOMED PHYSIOSON-Expert.....	53
Figura 57 – PHYSIOMED IF-Expert e acessórios.....	54
Figura 58 – Hidrocoletor Chattanooga SS-2.....	55
Figura 59 – Esquema genérico do circuito elétrico de um hidrocoletor.....	55
Figura 60 – Tratamento de termoterapia.....	56
Figura 61 – Bicicleta Ergométrica.....	57
Figura 62 – Passadeira Elétrica utilizada em fisioterapia.....	58
Figura 63 – Marquesa para fisioterapia.....	58
Figura 64 – Interior do transdutor de ultrassom.....	60
Figura 65 – IONOSON-Expert e acessórios.....	61
Figura 66 – Vista de cima do interior do equipamento IF-Expert.....	61
Figura 67 – Transístores de corrente de saída.....	62
Figura 68 – Potenciômetro de 10 k $\Omega$ .....	62
Figura 69 – Desencaixe da ficha do potenciômetro.....	63
Figura 70 – Transístores e circuitos integrados da fonte de alimentação.....	64

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valores limite dos parâmetros de teste de equipamentos de ultrassom.....	37
Tabela 2 – Valores limite da resistência de isolamento.....	43
Tabela 3 – Valores limite da corrente de fuga dos equipamentos (método direto) .....	45
Tabela 4 – Valores limite da corrente de fuga das partes aplicadas (método direto) .....	45
Tabela 5 – Valores limite da corrente de fuga dos equipamentos (método diferencial) .....	47
Tabela 6 – Valores limite da corrente de fuga dos equipamentos (método alternativo) .....	49
Tabela 7 – Valores limite da corrente de fuga das partes aplicadas (método alternativo) .....	49



## ABREVIATURAS

<b>ATP</b>	Trifosfato de Adenosina
<b>AL-TENS</b>	<i>Acupuncture-Like TENS</i>
<b>CA</b>	Corrente Alternada
<b>CC</b>	Corrente Contínua
<b>COX</b>	C Oxidase
<b>DAC</b>	<i>Digital to Analog Converter</i>
<b>DDS</b>	<i>Direct Digital Synthesizer</i>
<b>EN</b>	<i>European Standard</i>
<b>HIFU</b>	<i>High Intensity Focused Ultrasound</i>
<b>IEC</b>	<i>International Electrotechnical Commission</i>
<b>IPQ</b>	Instituto Português da Qualidade
<b>ISEC</b>	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>
<b>LASER</b>	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
<b>LCD</b>	<i>Liquid Cristal Display</i>
<b>LLL</b>	<i>Low Level Laser</i>
<b>MD</b>	<i>Measuring Device</i>
<b>MIB</b>	Mestrado em Instrumentação Biomédica
<b>NO</b>	Óxido Nítrico
<b>NP</b>	Norma Portuguesa
<b>ROS</b>	<i>Reactive Oxygen Species</i>
<b>RTF</b>	<i>Run To Failure</i>
<b>SFC</b>	<i>Single Fault Condition</i>
<b>TENS</b>	<i>Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation</i>
<b>WCPT</b>	<i>World Confederation for Physical Therapy</i>



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento e Motivação

O aumento da qualidade de vida e consequentemente da esperança média de vida observado a nível mundial derivou da melhoria das condições socioeconómicas e do acesso a serviços de saúde por parte da população mundial.

Tendo por base este paradigma, surgiram novas tecnologias com aplicações em diversas áreas, nomeadamente na saúde, decorrentes dos avanços científicos alcançados.

Os desenvolvimentos tecnológicos observados na área da saúde resultaram em equipamentos de diagnóstico e terapia inovadores que auxiliam os profissionais do ramo a desempenharem o seu papel de forma mais assertiva e eficaz. Isto também levou à criação da necessidade de existirem profissionais especializados em tecnologias da área da saúde, que pudessem certificar que os equipamentos funcionem sempre nas condições indicadas para a sua correta utilização, através da manutenção corretiva e preventiva dos mesmos.

A manutenção de equipamentos médicos é uma área que tem vindo a crescer de forma constante. Devido ao aumento do número e tipo de equipamentos que têm vindo a ser colocados em utilização na área da saúde houve também um crescimento do número de empresas que efetuam a manutenção deste tipo de equipamentos. Estas empresas de manutenção devem respeitar as normas em vigor, de forma a cumprir os requisitos técnicos e procedimentos nelas descritos. Estas normas indicam quais os fatores a ter em conta no desenvolvimento, manutenção e teste de equipamentos médicos de forma que cumpram o objetivo pretendido com um elevado rácio benefício/risco para o paciente.

Um engenheiro biomédico especializado em instrumentação biomédica é um profissional que teve como base de aprendizagem a aplicação da tecnologia na saúde podendo ser descrito como a ponte de ligação entre a engenharia e a saúde. Por este motivo deve ser capaz de compreender e explicar pormenorizadamente o funcionamento de sistemas e equipamentos médicos assim como planear e executar tarefas que permitam realizar a sua manutenção preventiva e corretiva.

É por isto, de extrema importância que recém-formados tenham a oportunidade de experienciar na prática a realização destas tarefas, sendo essa a principal motivação deste estágio na empresa Medicineto.

## 1.2 Empresa de Acolhimento

A Medicineto é uma empresa de comércio e manutenção de dispositivos e equipamentos médicos e hospitalares. Fundada em 1976 por José Neto, a Medicineto começou por ser uma empresa de reparação e instalação de equipamentos eletrónicos, tais como rádios, televisões e antenas.

A partir de 1979, a empresa redirecionou a sua atividade para a área da saúde, especializando-se no ramo da fisioterapia. Inicialmente a Medicineto localizava-se ao lado da habitação do seu fundador, tendo em 2014 mudado as suas instalações para a Estrada Nacional 1, 1633 B, 2400-504 - Alto Vieiro, Azoia, Leiria onde se situa atualmente. Na Figura 1 é apresentado o logótipo da empresa Medicineto.



*Figura 1 – Logótipo da empresa Medicineto*

Foi a partir do momento em que a Medicineto mudou a sua área de atividade para o setor da saúde que o seu crescimento foi mais significativo. De entre os seus principais clientes encontram-se clínicas de fisioterapia, hospitais e instituições associadas à União das Misericórdias Portuguesas. A qualidade dos seus produtos e serviços técnicos foram os principais impulsionadores desse crescimento levando a que nos dias de hoje a sua área de abrangência compreenda a zona centro do país, tanto no litoral como no interior.

Desde 1984, a Medicineto é o representante exclusivo da marca Physiomed a nível nacional, sendo também o seu representante mais antigo. A Physiomed é uma empresa alemã que fabrica e comercializa produtos de diagnóstico e terapia nas áreas da reabilitação, do desporto e da medicina estética. A Medicineto é também parceira de outras marcas como MTS, Schwa Medico, Fermslife e Rowo.

A missão da Medicineto é fornecer produtos médicos e hospitalares de elevada qualidade com ambição de vir a ter uma atuação a nível internacional, sempre com a preocupação de manter a qualidade de topo e a satisfação dos seus clientes.

### **1.3 Objetivos**

Os objetivos definidos para este estágio foram:

- Obter conhecimento aprofundado na área da manutenção preventiva e corretiva de equipamentos médicos;
- Obter conhecimento e experiência prática na reparação de vários equipamentos de diversas marcas em contexto de trabalho;
- Obter conhecimento aprofundado relativo às tecnologias e técnicas utilizadas em equipamentos de fisioterapia;
- Auxiliar a empresa no processo de certificação através da investigação e análise das normas aplicáveis aos equipamentos que a empresa comercializa e pratica manutenção.

## 1.4 Súmula das Principais Atividades Realizadas

O estágio curricular teve início na primeira semana de janeiro de 2021 e término a 30 de junho de 2021. A Figura 2 apresenta as atividades realizadas neste estágio, incluindo a escrita e correção deste relatório, usando para o efeito um diagrama de Gantt.

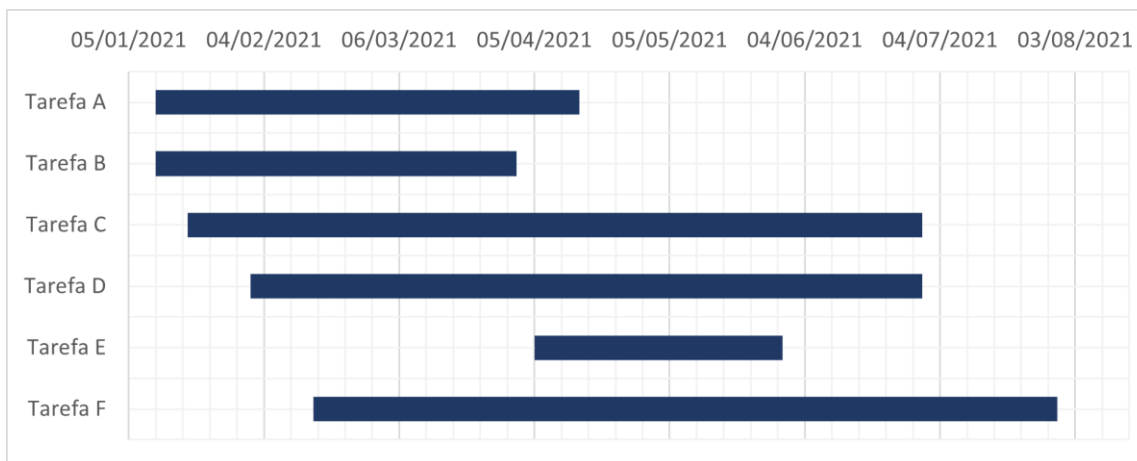


Figura 2 – Súmula das atividades realizadas

A tarefa A compreendeu a adaptação do estagiário às atividades da empresa Medicineto, sua organização e conhecimento do portefólio de serviços fornecidos. Esta atividade é descrita nos capítulos 1 e 2.

Na tarefa B foi realizado um estudo relativo ao estado da arte dos princípios de funcionamento e tecnologias empregues nos equipamentos médicos de fisioterapia, designadamente os que utilizam ultrassons, correntes elétricas e *laser*. Esta atividade é descrita no capítulo 2.

A tarefa C descreve as atividades realizadas durante o acompanhamento nas saídas aos clientes para efetuar manutenções preventivas, como se apresenta no capítulo 4.

A tarefa D diz respeito à participação do estagiário na manutenção corretiva de equipamentos médicos, descrita no capítulo 4.

A tarefa E compreendeu o estudo e análise das normas mais relevantes relacionadas com equipamentos médicos de fisioterapia, descrita no capítulo 3.

A tarefa F diz respeito à organização do material recolhido e à escrita deste relatório de estágio.

## 1.5 Estrutura do Relatório

O relatório apresentado está dividido em cinco capítulos, onde são apresentados e explicados todos os aspectos relevantes relativos ao trabalho desenvolvido neste estágio:

- **Capítulo 1** – Introdução: descrição do tema do relatório, apresentação da empresa de acolhimento e dos objetivos do estágio;
- **Capítulo 2** – Estado da Arte: neste capítulo é feita uma abordagem à fisioterapia e aos equipamentos utilizados nesta área. São explicados os principais fundamentos da fisioterapia, quais as competências e áreas de atuação dos fisioterapeutas. É feita uma explicação detalhada do funcionamento e dos efeitos fisiológicos de alguns equipamentos utilizados neste contexto;
- **Capítulo 3** – Manutenção: são descritos os aspectos mais relevantes relativos à manutenção de equipamentos médicos e abordadas as normas de manutenção mais importantes aplicáveis a equipamentos médicos de fisioterapia;
- **Capítulo 4** – Intervenções Realizadas: neste capítulo são descritos alguns dos procedimentos mais comuns de manutenção preventiva e corretiva em equipamentos de fisioterapia realizados pela empresa Medicineto;
- **Capítulo 5** – Conclusão e Trabalho Futuro: neste capítulo é feita uma reflexão sobre o trabalho desenvolvido ao longo de todo o estágio e apresentadas propostas de trabalho futuro e melhoria dos procedimentos realizados pela empresa.

## 2 ESTADO DA ARTE

O termo fisioterapia foi definido na Confederação Mundial de Fisioterapia designada em inglês por *World Confederation for Physical Therapy* (WCPT) como o serviço prestado por fisioterapeutas para desenvolver, manter e restaurar o máximo de movimento e capacidade funcional ao longo da vida. Este serviço pode ajudar as pessoas quando o movimento e capacidade funcional são ameaçadas devido ao envelhecimento, lesões, doenças, assim como condições ou fatores ambientais. O objetivo da fisioterapia é ajudar as pessoas a melhorar o bem-estar físico, psicológico, emocional e social, maximizando a sua qualidade de vida [1].

O fisioterapeuta tem de possuir certas competências e capacidades que lhe permitam cumprir o objetivo de praticar fisioterapia corretamente. Algumas dessas competências são [1]:

- Realizar um exame/avaliação abrangente do paciente/cliente ou das necessidades de um grupo de clientes;
- Avaliar as descobertas do exame/avaliação para fazer julgamentos clínicos sobre os pacientes/clientes;
- Formular um diagnóstico, prognóstico e plano;
- Fornecer consultoria dentro dos seus conhecimentos e determinar quando os pacientes/clientes precisam ser encaminhados para outro profissional;
- Implementar um programa de intervenção/tratamento de fisioterapia;
- Determinar os resultados de quaisquer intervenções/tratamentos;
- Fazer recomendações para autogestão.

A fisioterapia tem várias áreas de atuação em que os fisioterapeutas se podem especializar e assim prestar tratamentos a populações específicas. Algumas dessas áreas são [2]:

- Fisioterapia cardiorrespiratória;
- Cuidados continuados e cuidados paliativos;
- Cuidados de saúde hospitalares e primários;
- Fisioterapia dermatofuncional;
- Fisioterapia do desporto;
- Envelhecimento;
- Fisioterapia músculo esquelética;
- Neurologia;
- Pediatria.

De forma a cumprir estes objetivos são utilizados diversos tipos de equipamentos que auxiliam os fisioterapeutas a fornecer um serviço melhor e mais eficiente. Estes equipamentos utilizam várias técnicas/tecnologias que foram desenvolvidas e aperfeiçoadas ao longo dos anos, sendo algumas das principais o ultrassom, a eletroterapia, a terapia *laser*, a termoterapia e o Deep Oscillation®. Neste capítulo são apresentados alguns dos equipamentos utilizados neste ramo.

## 2.1 Ultrassons

O ultrassom é uma onda sonora de elevada frequência relativamente às frequências audíveis pelo ser humano. Ondas sonoras com frequência superior a 20 kHz são consideradas ultrassons [3]. Na Figura 3 está representado o espectro do som.

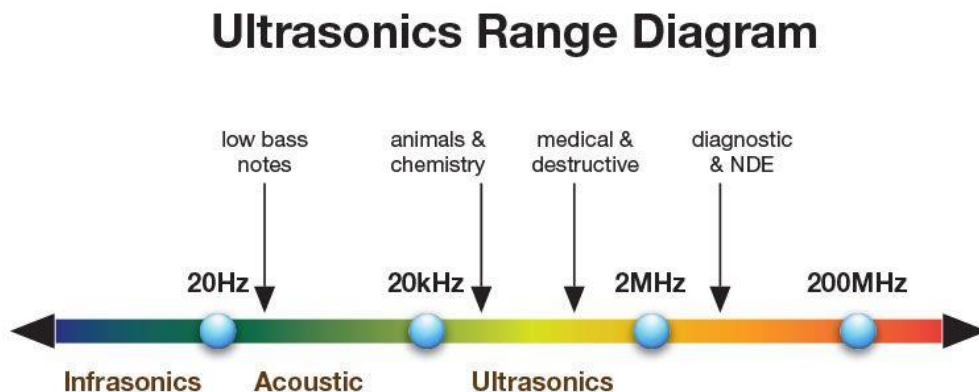


Figura 3 – Diagrama com as frequências sonoras [4]

A utilização de ultrassom para produzir alterações biológicas é normalmente designada de ultrassom terapêutico e pode ter vários efeitos biológicos consoante o nível de exposição. A aplicação do ultrassom terapêutico pode ser dividida em duas categorias: baixa potência ( $0.125 - 3 \text{ W/cm}^2$ ) e alta potência ( $\geq 5 \text{ W/cm}^2$ ). O ultrassom de baixa potência pode ser utilizado em fisioterapia, reparação de fraturas, sonoforese, sonoporação e terapia genética, enquanto que o uso mais comum de ultrassom de alta potência é o ultrassom focalizado de alta intensidade, designado na terminologia anglo-saxónica por *High Intensity Focused Ultrasound* (HIFU) [5].

O objetivo principal da utilização de tratamentos de baixa intensidade é o de estimular respostas fisiológicas normais em resposta a lesões ou acelerar processos tais como difusão de drogas pela pele. Os tratamentos de alta intensidade têm normalmente o objetivo de destruir tecido de forma controlada [6]. Em fisioterapia é utilizado ultrassom terapêutico de baixa potência com uma frequência de 1 ou 3 MHz, consoante se pretenda um tratamento mais profundo (1 MHz) ou mais superficial (3 MHz) [3].

### 2.1.1 Funcionamento e utilização do equipamento de ultrassom

O ultrassom terapêutico é criado por uma corrente alternada, produzida por um gerador de tensão de alta frequência, que atravessa o cristal piezoelétrico contido no interior do transdutor do equipamento de ultrassom, fazendo-o vibrar [3]. O transdutor irá, portanto, converter a energia elétrica recebida em energia mecânica, através do efeito piezoelétrico inverso.

O efeito piezoelétrico consiste na capacidade característica de certos materiais em gerar um potencial elétrico quando submetidos a alguma forma de energia mecânica. Alguns desses materiais são o zirconato de chumbo e o titânio de bário. Estes materiais têm também a capacidade de produzir o efeito inverso, ou seja, converter energia elétrica em ondas mecânicas, que é o caso do transdutor deste tipo de equipamentos. As ondas mecânicas geradas são posteriormente propagadas pelo meio de forma a produzir o efeito terapêutico desejado [7].

Na Figura 4 e Figura 5 estão representados um equipamento de ultrassom terapêutico e o transdutor do mesmo.



Figura 4 – Equipamento de ultrassom terapêutico PHYSIOSON- Expert [8]

Este equipamento permite ao fisioterapeuta definir os parâmetros do tratamento tais como: duração, intensidade, frequência da onda e tipo de emissão (pulsada ou contínua).



Figura 5 – Transdutor de ultrassom

Na Figura 6 está representado um diagrama de blocos de um equipamento de ultrassom terapêutico.

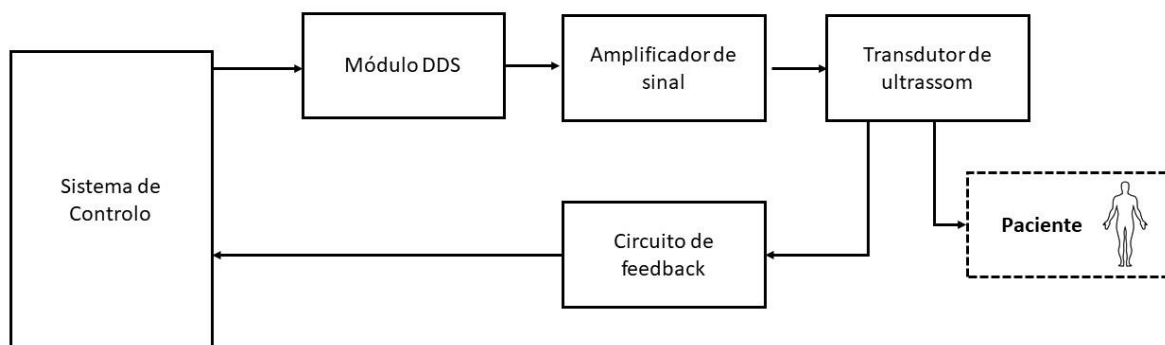


Figura 6 – Diagrama de blocos do funcionamento de um equipamento de ultrassom (baseado em [6])

O sistema de controlo é o módulo que contém o microcontrolador, que coordena a operação dos outros módulos e controla o transdutor responsável pela geração dos sinais de ultrassons. Nesse módulo são igualmente guardados os programas com os parâmetros pré-definidos para a realização de tratamentos específicos. Este módulo vai enviar a informação dos parâmetros escolhidos pelo fisioterapeuta ao módulo *Direct Digital Synthesizer* (DDS) para que este produza um sinal com as características pretendidas no que concerne à frequência, *duty cycle* e tempo do tratamento a realizar.

O sinal gerado pelo DDS é de seguida amplificado de modo que a intensidade da emissão do sinal de ultrassom seja a desejada. Finalmente, este sinal elétrico é convertido em ondas mecânicas pelo transdutor piezoelétrico, as quais serão aplicadas no paciente. O circuito de *feedback* serve para informar o sistema de controlo se existe contacto suficiente entre o transdutor e o paciente para que a passagem de ondas de ultrassom ocorra de forma efetiva [9].

### **2.1.2 Efeitos do ultrassom terapêutico**

Os efeitos da utilização do ultrassom terapêutico podem dividir-se em dois tipos: efeito térmico e efeito não térmico. No entanto, é impossível afirmar que o tratamento administrado terá apenas um desses efeitos, sendo mais razoável admitir que um deles será mais significativo que o outro [3].

O efeito térmico resulta da absorção de ondas de ultrassom aplicadas preferencialmente de forma contínua no tecido biológico, levando a um aumento da temperatura tecidual. Quando a temperatura tecidual é aumentada até à gama de 40 – 45 °C ocorre hiperemia que é o aumento do fluxo sanguíneo num órgão ou tecido. Este fenómeno leva a que os tecidos danificados sofram de uma irrigação superior ao normal, levando a uma maior absorção de proteínas colagénias, o que resulta numa melhor e mais rápida reparação e desinflamação dos tecidos [3].

Os benefícios que poderão advir do efeito térmico das ondas de ultrassom compreendem um aumento da extensibilidade de estruturas colagénias na recuperação de tendões e tecido cicatricial, diminuição de rigidez nas articulações ósseas, alívio de dor, diminuição de espasmos musculares e relaxamento muscular [6].

O efeito não térmico resulta do efeito mecânico da aplicação de ondas de ultrassom de forma pulsada que causam alterações nos tecidos, tais como: a cavitação estável; o fluxo acústico e a micromassagem, de forma menos evidente [3].

Existem dois tipos de cavitação: estável e instável. A cavitação estável é, na sua forma simplista, a formação e crescimento de bolhas de gás nos tecidos e fluidos corporais. Este fenómeno potencia o fluxo acústico, o que é visto como benéfico para o paciente [3]. Na Figura 7 está representado o fenómeno de cavitação estável.

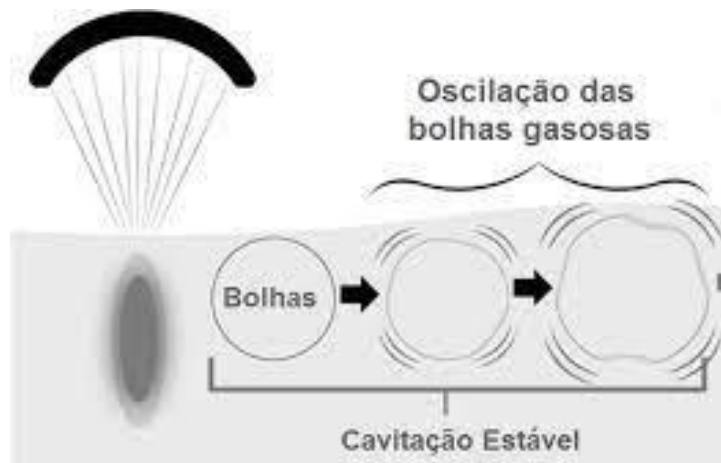


Figura 7 – Cavitação estável [10]

A cavitação instável consiste na formação de bolhas na parte de baixa pressão do ciclo de ultrassom. Estas bolhas rebentam muito rapidamente, libertando uma elevada quantidade de energia, danificando os tecidos envolventes. Este fenómeno é utilizado em tratamentos de HIFU com o objetivo de destruir tecido indesejado [3]. Na Figura 8 está representado este fenómeno.

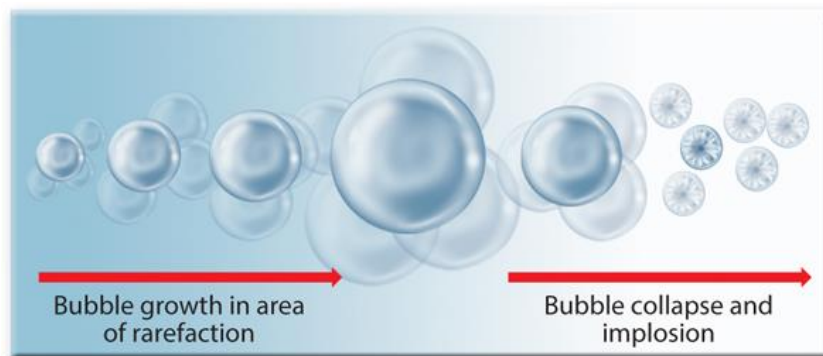
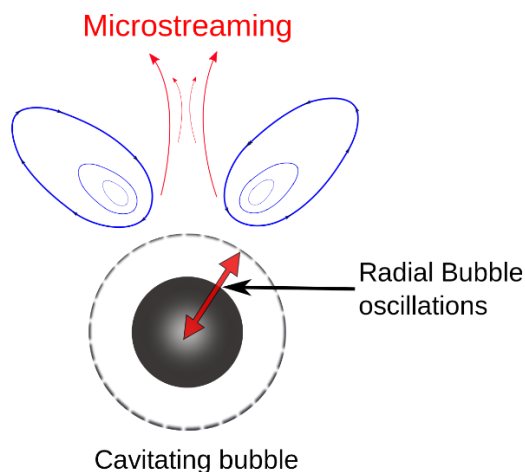


Figura 8 – Cavitação instável [11]

O fluxo acústico é descrito como um redemoinho de pequena escala de fluidos próximos de uma estrutura vibratória tais como membranas celulares e a superfície das bolhas de gás da cavitação estável. Este fenómeno afeta a permeabilidade e a taxa de difusão nas membranas o que dá origem a um aumento de atividade da célula levando a alterações no controlo enzimático de processos metabólicos, em particular na síntese de proteínas e secreções celulares. Deste processo resulta um aumento da taxa de recuperação e uma melhoria da qualidade de reparação dos tecidos [3]. Na Figura 9 está representado este fenómeno numa bolha de gás formada através de cavitação estável.



*Figura 9 – Fluxo acústico [12]*

A micromassagem é um fenômeno mecânico provocado pelas ondas de ultrassom que fazem vibrar as moléculas, levando a um aumento das trocas de fluidos entre os tecidos [3].

Conclui-se que o efeito não térmico pode originar alterações celulares que produzem resultados terapêuticos [3].

Para a realização de um tratamento, o fisioterapeuta escolhe inicialmente os parâmetros do mesmo de acordo com as necessidades do paciente. O fisioterapeuta necessita, em antemão, de informações sobre o tipo de lesão para que possa planejar e executar um tratamento eficaz e com o mínimo de riscos para o paciente. De forma a otimizar a transmissão das ondas de ultrassom emitidas pelo transdutor para o paciente são utilizadas duas técnicas: aplicação de gel na área tecidual onde será realizado o tratamento e transmissão do ultrassom através da água com o auxílio de um recipiente, quando a fisionomia da zona a tratar (pés por exemplo) não permite a utilização do transdutor de forma eficiente, denominado tratamento subaquático. Na Figura 10 está representado o tratamento com o auxílio do gel.



*Figura 10 – Tratamento com o auxílio do gel [8]*

## 2.2 Eletroterapia

A eletroterapia pode ser descrita de forma simplista como a utilização de uma corrente elétrica para fins terapêuticos [13]. Esta técnica é normalmente complementada com outros tipos de terapias para um tratamento mais eficaz apresentando resultados positivos tais como: alívio de dor, promoção da reparação de tecidos e assistência na restauração de funções [14].

As modalidades mais utilizadas em eletroterapia são *Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation* (TENS), Correntes Galvânicas e Correntes Interferenciais. Diferentes modalidades de eletroterapia resultam em efeitos biológicos variados, sendo por isso essencial que o fisioterapeuta realize o tratamento com a corrente elétrica que melhor se adequa à terapia de uma dada lesão.

O planeamento do processo de tratamento com o auxílio de eletroterapia deve seguir o modelo seguinte [14]:

1. Determinar a natureza do problema;
2. Estabelecer as mudanças fisiológicas que necessitam de acontecer para que se atinjam os efeitos pretendidos;
3. Escolher a modalidade, ou tipo de corrente com maior capacidade de provocar as mudanças pretendidas nos tecidos.

Estas modalidades serão explicadas mais detalhadamente ao longo deste capítulo.

### 2.2.1 Funcionamento de equipamentos de eletroterapia

A eletroterapia consiste na aplicação de uma corrente elétrica para fins terapêuticos. Os equipamentos de eletroterapia, também denominados equipamentos de correntes são responsáveis pela geração e modulação do sinal que será aplicado no paciente. Esse sinal é aplicado ao paciente por meio de dois elétrodos condutores que se encontram em contacto direto com o paciente, criando assim uma diferença de potencial e possibilitando a passagem de corrente. Existem vários tipos de equipamentos de eletroterapia com diferentes funcionalidades, desde equipamentos mais simples que apenas geram sinais TENS até equipamentos mais complexos que geram vários tipos de sinais. As principais características diferenciadoras entre equipamentos de eletroterapia são a diversidade de formas de onda do sinal de corrente que é possível gerar e a possibilidade de programar as características desse mesmo sinal. Na Figura 11 é apresentado um exemplo de equipamento de TENS.

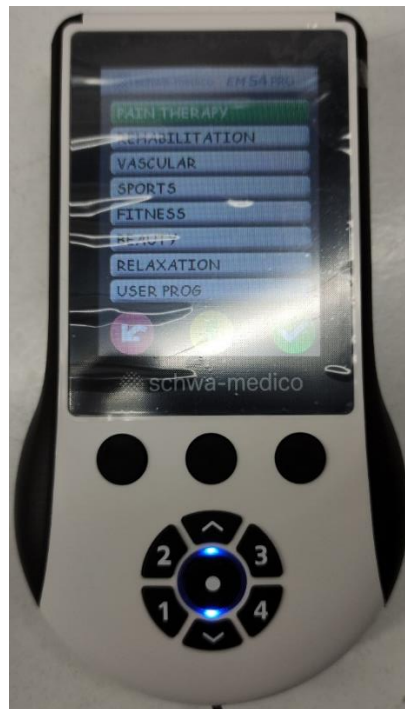


Figura 11 – Equipamento de TENS Schwa-Medico EMS4 Pro

Este equipamento permite ao utilizador realizar um tratamento de TENS e programar vários parâmetros do tratamento, tais como: frequência, tempo de tratamento e intensidade de corrente em ambos os canais.

A Figura 12 apresenta um equipamento de eletroterapia sendo os seus principais acessórios representados na Figura 13.



Figura 12 – Equipamento de eletroterapia PHYSIOMED-Expert [8]

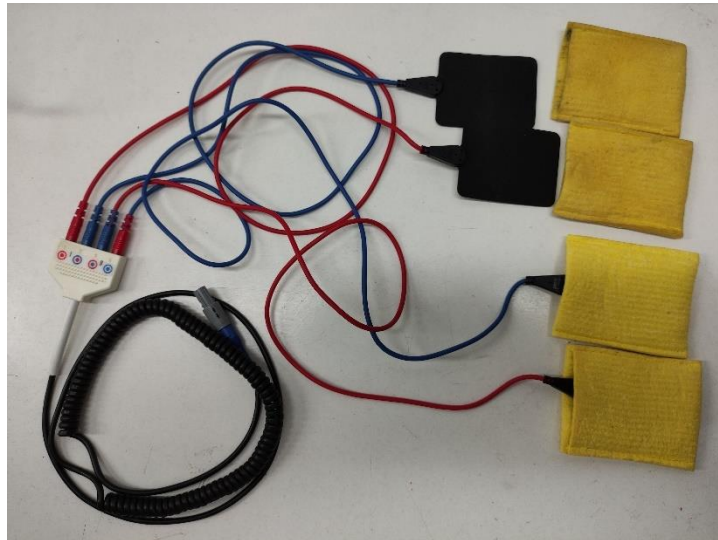


Figura 13 – Acessórios de equipamento de eletroterapia: cabos, eléctrodos e esponjas

Este equipamento, mais complexo que o anterior, permite ao fisioterapeuta seleccionar o tipo de corrente com a qual pretende realizar o tratamento, assim como configurar os parâmetros mais relevantes: frequência ou gama de frequências, duração do impulso, duração do tratamento, intervalo de pausa e intensidade de corrente de forma independente em ambos os canais.

Na Figura 14 está representado um diagrama de blocos genérico correspondente ao equipamento visualizado na Figura 12.

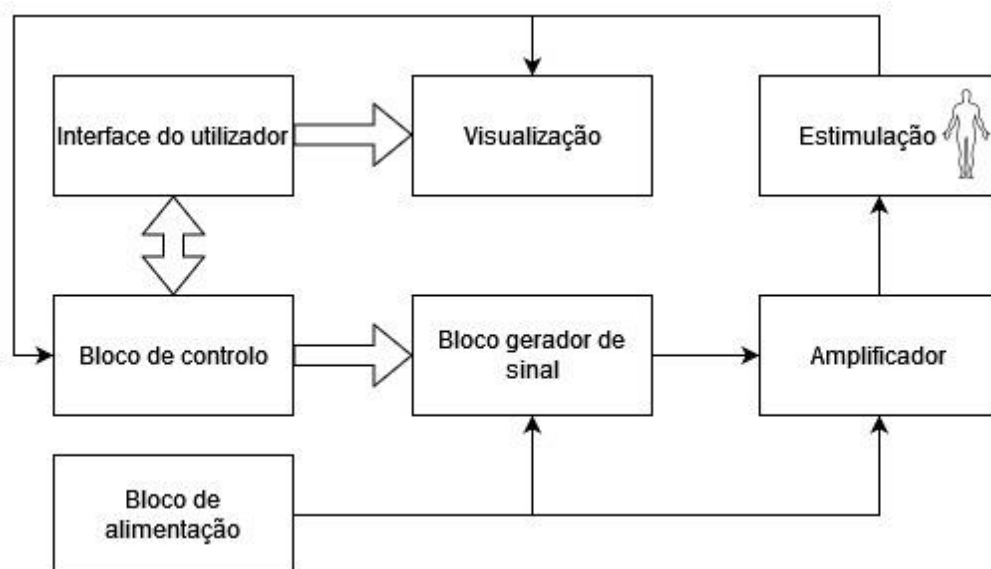


Figura 14 – Diagrama de blocos do funcionamento de um equipamento de eletroterapia (baseado em [15])

O bloco de controlo é o circuito responsável pela gestão das operações de todo o sistema. Inicialmente o fisioterapeuta selecciona os valores pretendidos dos parâmetros para a realização do tratamento através da *interface* do utilizador. Essa informação é transmitida para o bloco de controlo que irá comandar o bloco gerador de sinal a produzir o sinal de acordo com os parâmetros programados pelo fisioterapeuta. O sinal gerado é amplificado no bloco amplificador para os níveis

de intensidade de corrente de saída pretendidos e é por fim transmitido ao paciente através de cabos elétricos e elétrodos resistivos pertencentes ao bloco estimulação. Este bloco tem ligação com o bloco de controlo (malha de *feedback*) para que caso exista algum tipo de anomalia durante o tratamento, como por exemplo falha no contacto entre os elétrodos e o paciente, o bloco de controlo interrompa a emissão e envie uma mensagem de erro para o bloco visualização. O bloco visualização tem por objetivo permitir ao fisioterapeuta a visualização do programa em curso para que este possa acompanhar a evolução do tratamento e alterar os valores dos diferentes parâmetros. O bloco de alimentação fornece energia para a alimentação de todos os componentes do sistema [15].

## 2.2.2 Modalidades de eletroterapia e efeitos terapêuticos

De acordo com vários estudos científicos publicados [17], [19], [20], a utilização de correntes elétricas produz efeitos terapêuticos, principalmente no alívio de dor, tratamento de paralisia muscular e distúrbios periféricos de circulação sanguínea. Para além destas aplicações, a eletroterapia é também utilizada na técnica de iontoforese [16].

De seguida serão explicadas as principais modalidades de eletroterapia, anteriormente referidas, e os seus efeitos terapêuticos.

### 2.2.2.1 TENS

O TENS é uma técnica analgésica, não invasiva utilizada nos cuidados de saúde. Devido à sua simplicidade pode ser administrada em clínicas, por profissionais de saúde, ou em casa pelo próprio paciente. A principal e mais comum aplicação do TENS é em tratamentos de alívio da dor [17]. Na Figura 15 está representada a forma de onda característica desta modalidade.



Figura 15 – Forma de onda de TENS [18]

Um equipamento de TENS consiste num dispositivo de estimulação que gera impulsos de corrente elétrica. Como referido anteriormente o fisioterapeuta tem a possibilidade de programar vários parâmetros do sinal a administrar ao paciente. Na Figura 16 é possível observar um exemplo padrão de um equipamento de TENS, e algumas das características do sinal que é possível programar.

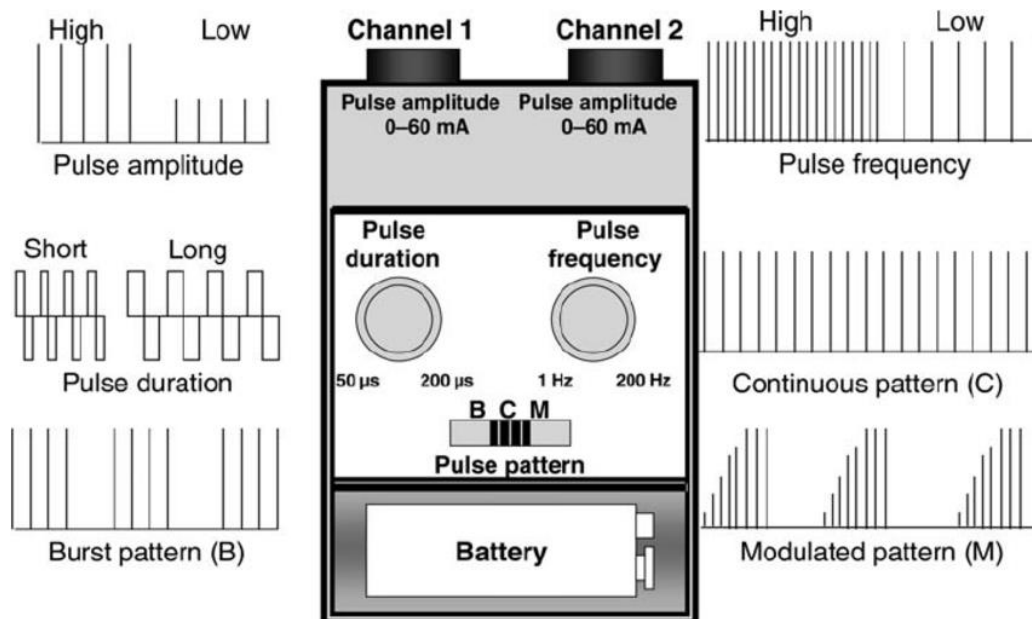


Figura 16 – Equipamento padrão de TENS e características do sinal [19]

As técnicas de TENS mais utilizadas são: o TENS convencional, a *Acupuncture-Like TENS* (AL-TENS) e o TENS intenso [17], [20].

O TENS convencional possui as seguintes características: frequência na gama 50 - 100 Hz, baixa intensidade de corrente sendo a duração dos pulsos compreendida entre 50 – 200  $\mu$ s.

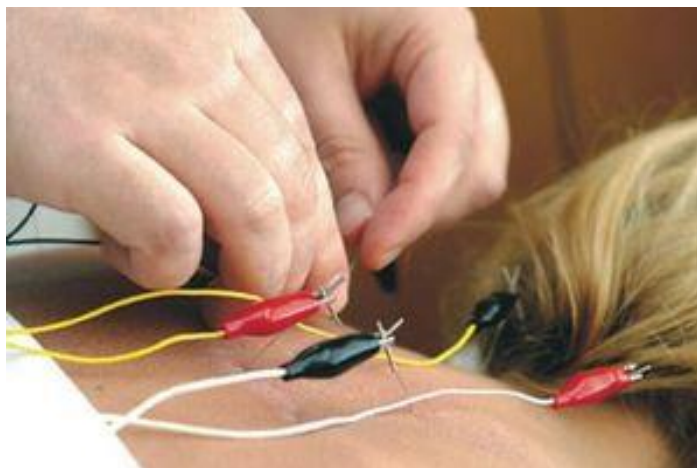
A AL-TENS caracteriza-se por utilizar frequências na gama 2 – 4 Hz, elevada intensidade de corrente e pulsos com duração entre 100 – 400  $\mu$ s.

O TENS intenso tem características muito semelhantes ao TENS convencional. São elas frequência elevada (~200 Hz), elevada intensidade de corrente e pulsos com uma duração superior a 1 ms.

Todas estas técnicas são utilizadas tendo por objetivo aliviar a dor do paciente, no entanto, a sua aplicação desencadeia diferentes mecanismos fisiológicos. Na Figura 17 e Figura 18 estão representados tratamentos com as técnicas referidas.



Figura 17 – Tratamento com TENS convencional/ intenso [21]



*Figura 18 – Tratamento com AL-TENS [22]*

A sensação de dor sentida pelo corpo é na realidade gerada pelo cérebro como resultado da entrada de informação nociva decorrente de estímulos provocados por exemplo por danos teciduais. Para que estas informações nocivas cheguem ao cérebro têm de passar pelo “portão da dor” localizado nos níveis mais baixos do sistema nervoso central. Em termos fisiológicos, o “portão da dor” é formado pela excitação e inibição de sinapses que regulam o fluxo de informação neuronal transmitida pelo sistema nervoso central.

Os efeitos desta modalidade são dependentes do tipo de TENS aplicado no paciente. No caso do TENS convencional a corrente elétrica gera atividade nas fibras nervosas de maior diâmetro (fibras A $\beta$ ) excitando-as, o que leva a que uma menor quantidade de informação nociva seja transmitida. Quando o tratamento é feito com AL-TENS ocorre a excitação de fibras nervosas de menor diâmetro (fibras A $\delta$  e C) o que resulta na ativação de vias inibidoras de dor originadas no cérebro. No caso do tratamento ser realizado com TENS intenso são excitadas as fibras nervosas com menor diâmetro, mas que possuem um *threshold* elevado (fibras A-delta), ativando mecanismos analgésicos extra segmentais. Na Figura 19 estão representados os efeitos mencionados.

Assim, a principal diferença entre as técnicas de TENS enunciadas é o tipo de fibras nervosas, de maior ou menor diâmetro, que são excitadas. O fator que leva a que tal aconteça é a quantidade de energia necessária para excitar cada um dos tipos de fibras nervosas. Fibras de menor diâmetro requerem maiores quantidades de energia comparativamente com fibras de maior diâmetro. A energia a aplicar no tratamento é quantificada e é modelado o sinal de TENS alterando as características da frequência, duração de pulso e amplitude visando a excitação seletiva das fibras nervosas [17].

Resumidamente, o objetivo principal da utilização da técnica TENS é “fechar o portão da dor”, diminuindo o fluxo de informação nociva que chega ao cérebro através do sistema nervoso central, resultando numa sensação de alívio de dor.

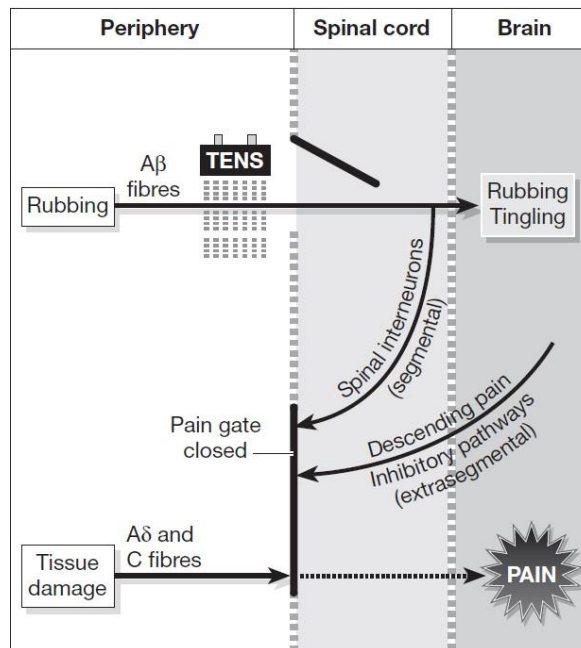


Figura 19 – Efeitos da aplicação de TENS convencional e AL-TENS [17]

### 2.2.2.2 Correntes Galvânicas

A corrente galvânica é essencialmente uma corrente contínua utilizada em fisioterapia. A sua utilização provoca o movimento de partículas com carga nos volumes de tecido que se situam entre os elétrodos condutores de corrente [16]. Cargas positivas são atraídas para o polo negativo e cargas negativas são atraídas para o polo positivo. A transferência de carga de um polo para o outro origina alterações fisiológicas nos tecidos, designadamente a estimulação vascular que resulta num aumento do fluxo sanguíneo e linfático, produzindo efeitos terapêuticos. Esta modalidade é frequentemente utilizada no tratamento de lesões musculoesqueléticas, tais como: adesões, dores nas articulações, neurite, mialgia e entorses [23].

A corrente galvânica é também utilizada para conduzir medicação iónica para os tecidos, através de uma técnica chamada iontoforese. A iontoforese é uma técnica que utiliza as propriedades elétricas de medicamentos ou químicos para os “injetar” no paciente de forma não invasiva [24]. Medicação eletricamente positiva será aplicada no polo positivo e medicação eletricamente negativa no polo negativo. A corrente galvânica tem uma capacidade de penetração pouco profunda (cerca de 1 mm), no entanto a medicação administrada será distribuída pelos tecidos através do sistema circulatório afetando tecidos a maiores profundidades. A iontoforese tem aplicação no tratamento de várias condições tais como: fibrosite, dissolução do tecido cicatricial, osteoartrite, espasmo muscular, artrite entre outros [23]. Na Figura 20 está representada uma imagem que demonstra o funcionamento desta técnica.

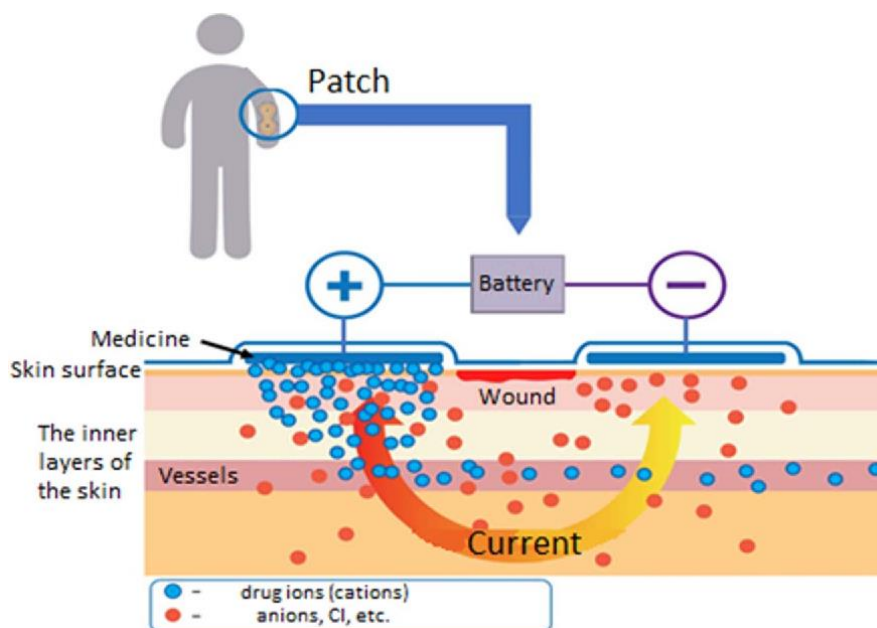


Figura 20 – Iontoforese [25]

### 2.2.2.3 Correntes Interferenciais

As correntes interferenciais são uma forma de corrente muito diferenciada das duas anteriormente descritas. O objetivo de utilização deste tipo de correntes é produzir os mesmos efeitos de outras modalidades que funcionam com baixas frequências, a níveis de profundidade mais elevados. Para que isto aconteça é necessário que o paciente seja sujeito a dois sinais com frequências na gama dos 2 kHz a 5 kHz. Os dois sinais de frequência média são aplicados no paciente de forma que se intercehem na zona onde se pretende realizar o tratamento. A interceção dos dois sinais resulta num sinal de baixa frequência que desta forma produz os efeitos pretendidos no tratamento de dores mais profundas. A Figura 21 mostra um exemplo de aplicação de correntes interferenciais [26].

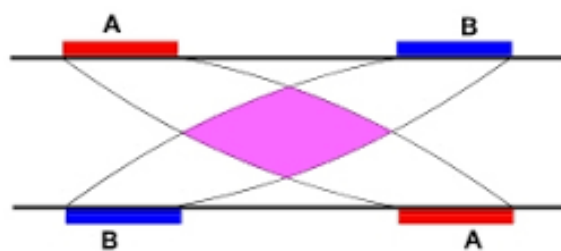


Figura 21 – Correntes interferenciais [13]

Neste exemplo são aplicados dois sinais A e B com frequências de 3.9 kHz e 4 kHz que resultam numa corrente interferencial com uma frequência de batimento de 100 Hz na zona de interceção. Na Figura 22 estão representadas as formas de onda de dois sinais emitidos pelos canais A e B de um equipamento de eletroterapia, bem como o sinal de corrente interferencial modulado resultante.

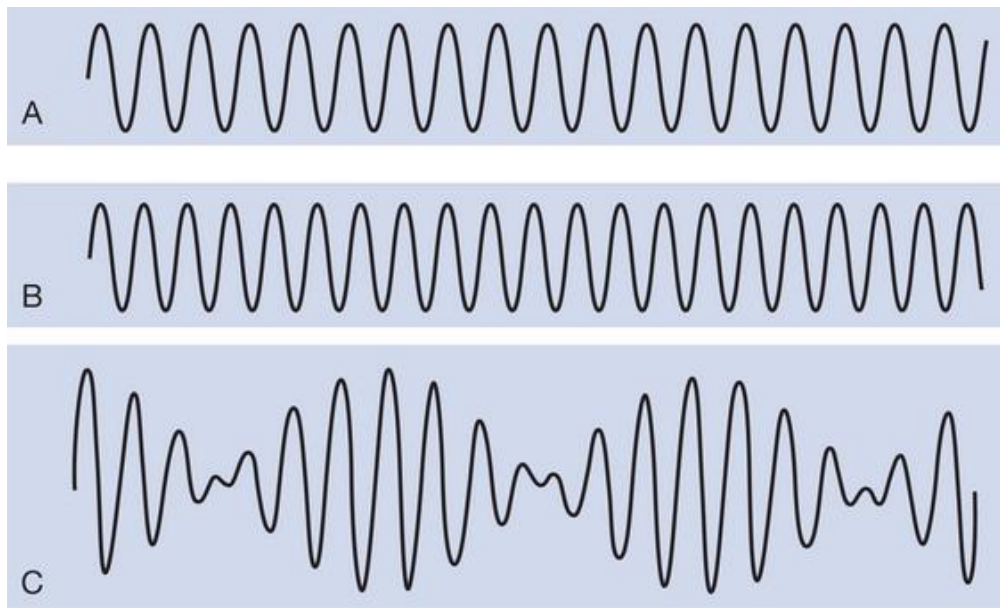


Figura 22 – Modulação e forma de onda de correntes interferenciais [27]

As correntes interferenciais são utilizadas principalmente no alívio de dor e na estimulação muscular. Os efeitos fisiológicos das correntes interferenciais quando utilizada com o objetivo de aliviar a dor são iguais aos efeitos provocados pela utilização do TENS ou outras modalidades que utilizem correntes de baixas frequências. A principal vantagem das correntes interferenciais é a capacidade de provocar esses efeitos em tecidos mais profundos [16].

O princípio físico da utilização de correntes interferenciais com o objetivo da estimulação muscular é a excitação das fibras nervosas dos tecidos musculares fazendo com que estes contraiam. Acredita-se que para este tipo de tratamento a gama de frequências ótima de utilização de correntes interferenciais está compreendida entre os 10 e 25 Hz. Para o efeito são aplicados sinais de forma que o sinal de corrente interferencial resultante possua uma frequência com valores dentro dessa gama. Sinais com uma frequência de 50 Hz poderão resultar numa contração tetânica, isto é, a contração máxima possível que também poderá produzir efeitos terapêuticos. Este tratamento pode ser aplicado em pacientes que por algum motivo o seu sistema nervoso não tenha capacidade de produzir estimulações nervosas de forma a contrair os músculos [26]. Na Figura 23 está representado um exemplo do modo de colocação dos elétrodos na zona lombar do paciente para a realização de um tratamento através de correntes interferenciais.

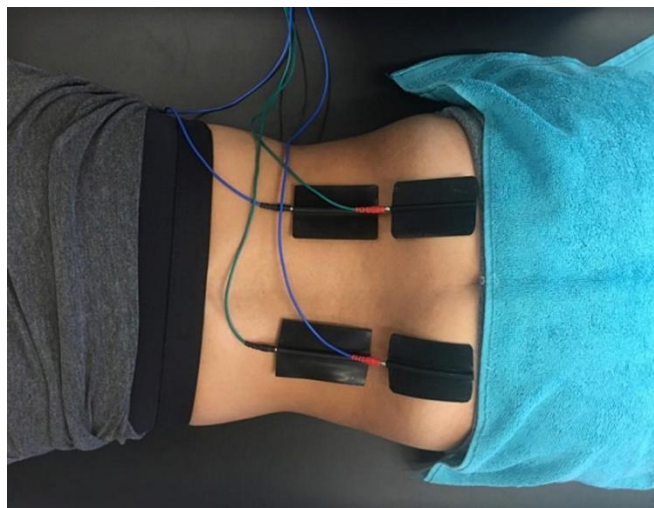


Figura 23 – Tratamento com correntes interferenciais [28]

## 2.3 Terapia Laser

Um dispositivo *laser*<sup>1</sup> é capaz de gerar radiação eletromagnética monocromática, coerente e colimada<sup>2</sup> que tem várias aplicações em terapia e diagnóstico. *Low Level Laser* (LLL) é um tipo especial de *laser* utilizado em terapia para atingir os efeitos de alívio de dor, redução de inflamação e regeneração de tecidos. Para um *laser* ser considerado LLL tem obrigatoriamente que possuir as seguintes características [29] [30]:

- Potência de saída do *laser* entre 0.001 e 0.5 W;
- Comprimento de onda entre 300 e 10600 nm;
- Emissão contínua ou pulsada com frequências até 5 kHz;
- Intensidade de radiação de 0.01-10 W/cm<sup>2</sup>;
- Dose de radiação entre 0.01 e 100 J/cm<sup>2</sup>.

*Lasers* com comprimentos de onda compreendidos entre a região do vermelho e o infravermelho (600 – 905 nm) no espectro de luz são geralmente os utilizados para terapia com LLL pois estes comprimentos de onda têm maior capacidade de penetração na pele e nos tecidos [30].

### 2.3.1 Equipamento de Terapia Laser

Os equipamentos utilizados em fisioterapia têm que cumprir os requisitos anteriormente descritos para produzir os efeitos pretendidos neste contexto. As figuras seguintes apresentam um equipamento deste tipo e dois aplicadores.

---

<sup>1</sup> *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER)

<sup>2</sup> Comprimento de onda único, mesma fase e mesma polarização.



*Figura 24 – Equipamento de terapia laser LAS-Expert e caneta laser*

O equipamento apresentado na Figura 24 possui dois aplicadores com os quais é possível realizar terapia *laser*. A caneta *laser* representada na Figura 25 emite um feixe de radiação *laser* e é utilizada para realizar tratamentos em pontos chave. O chuveiro *laser*, representado na Figura 26, emite 14 feixes de radiação na forma de luz, os quais são utilizados para realizar tratamentos em superfícies de maior área.



*Figura 25 – Caneta laser [8]*



*Figura 26 – Chuveiro laser [8]*

Os equipamentos de terapia *laser* permitem ao fisioterapeuta selecionar o tempo de tratamento, a frequência do sinal, a duração de cada impulso e a potência de saída do *laser*. A partir destes valores e do aplicador que estiver conectado, o equipamento calcula automaticamente a dose de radiação que será administrada por unidade de área [31].

Na Figura 27 está representado um diagrama de blocos genérico de um equipamento de terapia *laser* utilizado em fisioterapia.

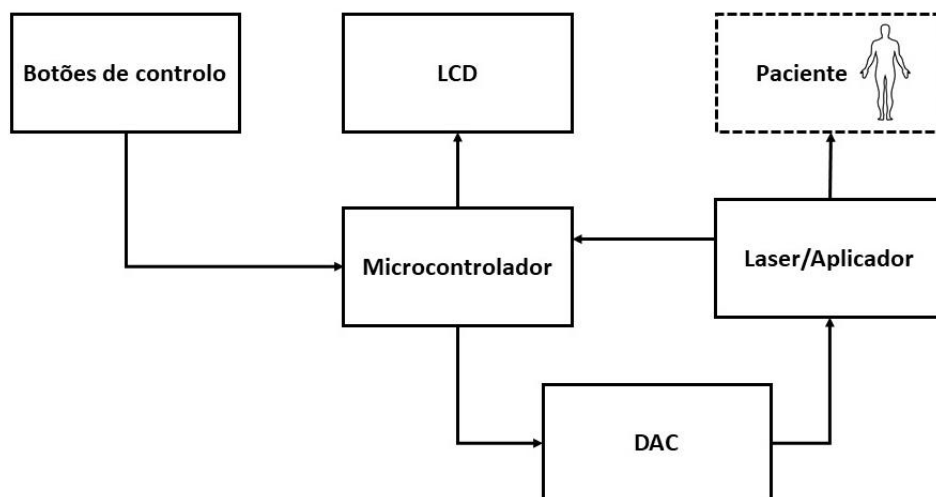


Figura 27 – Diagrama de blocos de equipamento de terapia laser (baseado em [32] e [33])

O funcionamento deste sistema começa com a programação dos parâmetros do tratamento a realizar, feito através de botões de controlo que estão ligados ao microcontrolador. A informação relativa aos valores atuais dos diferentes parâmetros será apresentada no *Liquid Cristal Display* (LCD). O microcontrolador calcula a dose de radiação que será emitida durante a realização do tratamento e modula a forma de onda do sinal com base nos valores dos parâmetros da frequência do sinal, duração de impulso e tempo de tratamento, conjugado o valor da área do aplicador. Este sinal será convertido num sinal analógico pelo *Digital to Analog Converter* (DAC) e enviado para alimentar o(s) diódo(s) *laser* contido(s) no aplicador, emitindo radiação.

### 2.3.2 Efeitos terapêuticos do LLL

Ao contrário de outras formas de terapia com outros tipos de *laser* o efeito do LLL é fotoquímico e não térmico ou ablativo. O que significa que a absorção de luz causará alterações químicas no sistema biológico. Para que a radiação *laser* emitida tenha efeito no sistema biológico é necessário que os fotões de luz sejam assimilados por grupos de absorção pertencentes a moléculas foto recetoras ou a cromóforos. O cromóforo é uma molécula ou porção de molécula responsável pela cor de alguns compostos tais como a hemoglobina e a melanina [29].

A mitocôndria é o organelo celular responsável por gerar energia convertendo moléculas de nutrientes e oxigénio em trifosfato de adenosina (ATP). Estudos comprovam que o citocromo c oxidase (COX), um complexo proteico constituinte da mitocôndria, é o principal recetor de luz na gama de comprimentos de onda do LLL [30]. A absorção de fotões pelo COX leva a que os eletrões fiquem excitados resultando num aumento da produção de ATP. Em consequência do aumento da síntese de ATP, a membrana celular ficará mais permeável à entrada de iões tais como o  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ . O ião de cálcio é muito importante na regulação de vários processos do corpo humano (contração muscular, coagulação sanguínea, etc.). Assim, o aumento da concentração destes iões no meio intracelular resultará num maior volume de processos dependentes de  $\text{Ca}^{2+}$  [29].

Outro processo resultante da terapia com LLL é a fotodissociação de óxido nítrico (NO) e COX. O NO produzido na mitocôndria ao associar-se ao COX pode inibir a respiração celular e deslocar

moléculas de oxigénio. A dissociação deste composto através de LLL resulta num aumento de espécies reativas de oxigénio (ROS) e de NO nas células atingidas pela radiação [30]. Na Figura 28 estão ilustrados de forma resumida os efeitos da utilização de LLL em terapia.

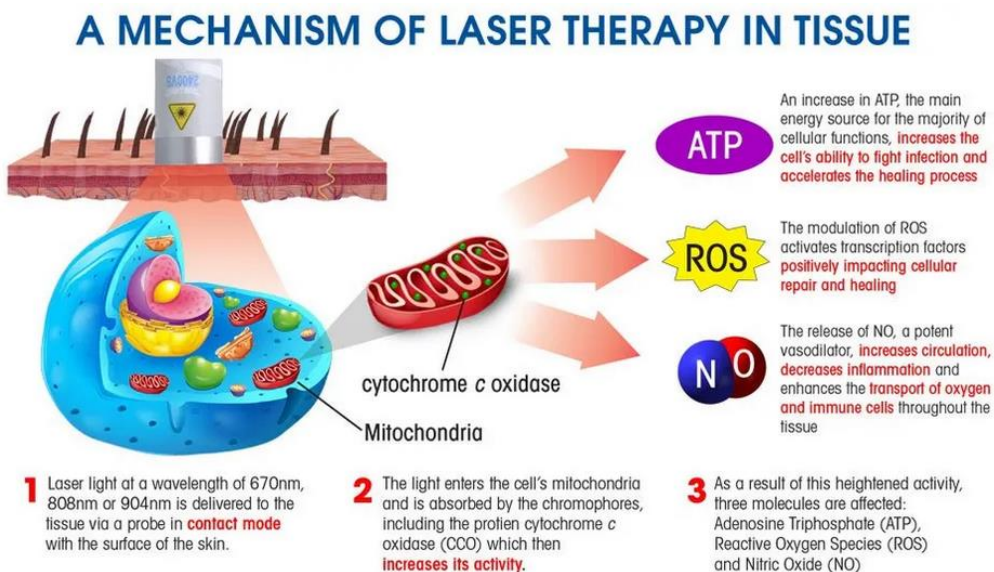


Figura 28 – Mecanismos de LLL nos tecidos [34]

Os efeitos secundários que se seguirão são reações a estes efeitos primários e ocorrerão nos tecidos e órgãos das áreas afetadas pelo LLL. Algumas das principais reações são [35]:

- Ativação de microcirculação sanguínea;
- Aumento do metabolismo celular e aumento da sua atividade funcional;
- Efeito anti-inflamatório;
- Estimulação de processos de reparação de tecidos;
- Efeito analgésico e imunomodulador.

A Figura 29 demonstra a realização de um tratamento de LLL.



Figura 29 – Tratamento de LLL [8]

## 2.4 Termoterapia

A termoterapia é definida como a aplicação terapêutica de qualquer substância que adicione energia na forma de calor ao corpo, resultando num aumento da temperatura tecidual. Este aumento de temperatura tecidual conduz a um incremento do fluxo sanguíneo, do metabolismo, da extensibilidade do tecido conjuntivo, produzindo uma sensação analgésica e diminuindo a tonicidade muscular [36].

A termoterapia tem várias formas de aplicação e para isso existem diversos tipos de equipamentos que permitem realizar este tipo de terapia, com recurso a diferentes mecanismos. Alguns dos equipamentos de termoterapia mais utilizados são o equipamento de micro-ondas, ondas curtas e o hidrocoletor. Os equipamentos de micro-ondas e ondas curtas atuam no corpo de forma indireta, enquanto o hidrocoletor irá aquecer e humedecer compressas que atuarão de forma direta no paciente.

Os equipamentos de ondas curtas e micro-ondas emitem radiação eletromagnética de alta frequência com comprimentos de onda na ordem dos 1 – 1000 mm no caso das micro-ondas, e 3 – 150 m no caso das ondas curtas. A emissão da radiação resulta na criação de um campo elétrico que levará a um aumento do movimento de partículas carregadas do corpo humano. Isto irá resultar num aumento de energia cinética destas partículas e consequentemente num aumento da temperatura tecidual da zona atingida pelo campo elétrico [37] [38]. Na Figura 30 e Figura 31 estão representados um equipamento de ondas curtas e um equipamento de micro-ondas, respetivamente.



*Figura 30 – Equipamento de Ondas Curtas PHYSIOTHERM-S [8]*



*Figura 31 – Equipamento de Micro-Ondas PHYSIOTHERM-M [8]*

O funcionamento do hidrocoletor é explicado no capítulo 4, onde é abordado o processo de manutenção preventiva deste equipamento.

Como já referido, um dos principais efeitos da aplicação terapêutica do calor é o aumento do fluxo sanguíneo. Este aumento leva a que haja uma maior concentração de proteínas, nutrientes e oxigénio na zona da lesão, resultando num aumento do metabolismo. O aumento do metabolismo ajuda o processo de cura, aumentando tanto as reações catabólicas como anabólicas, necessárias para degradar e remover os subprodutos metabólicos dos danos dos tecidos e fornece o meio para a reparação dos mesmos [36]. Esta modalidade tem efeitos comprovados no tratamento de dores musculares, hematomas, furúnculo e terçol, torcicolo, dores menstruais, tendinites, espasmos musculares, osteoartrite [36] [39].

## **2.5 Deep Oscillation®**

O Deep Oscillation® é uma modalidade emergente de tratamento não invasivo, exclusivo e patenteado da marca Physiomed. Esta modalidade utiliza um campo eletrostático pulsado para criar oscilações nos tecidos através de atração e fricção eletrostática. O princípio de funcionamento desta modalidade baseia-se no efeito Johnsen – Rahbek que ocorre quando um potencial elétrico é aplicado através da fronteira entre uma superfície metálica e a superfície de um material semiconductor. Nessas condições, surge uma força atrativa, cuja magnitude depende da diferença de potencial e dos materiais específicos envolvidos [40] [41].

Ao mover um dos elétrodos durante o tratamento, as forças produzidas provocam uma atração pulsada no tecido, o que resulta numa vibração de ressonância que penetra profundamente nos componentes gerais do tecido do paciente (pele, tecido conjuntivo, gordura subcutânea, fâscias, músculos, vasos sanguíneos e linfáticos).

Esse movimento rítmico que replica a contração muscular natural do corpo permite a recuperação da flexibilidade e mobilidade dos tecidos o que ajuda a expelir resíduos metabólicos,

toxinas e edema estagnante [40] [42]. O nome desta modalidade está relacionado com a sua elevada capacidade de penetração nos tecidos, chegando a uma profundidade de 8 cm [43]. Na Figura 32 está ilustrada a atuação do Deep Oscillation®.

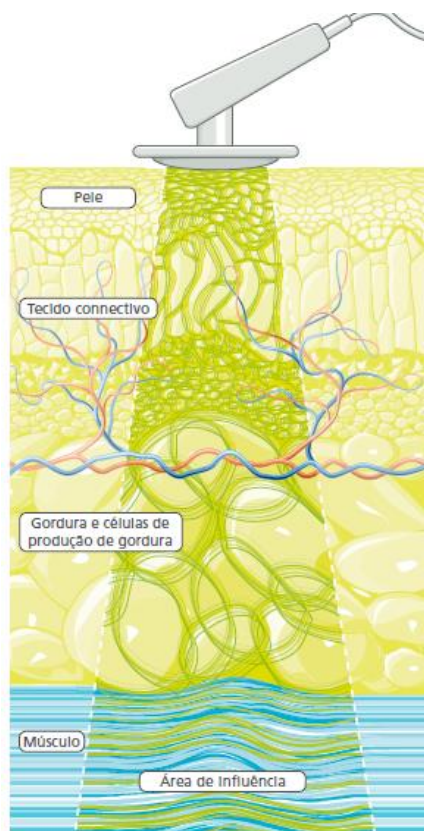


Figura 32 – Atuação do Deep Oscillation® [8]

Na Figura 33 é apresentado um equipamento de Deep Oscillation® e os seus acessórios.



Figura 33 – Deep Oscillation® e acessórios [8]

Para a realização de um tratamento de Deep Oscillation® o paciente deve segurar o eletrodo neutro enquanto o fisioterapeuta utiliza um aplicador na zona onde se pretende efetuar o

tratamento [44]. Na Figura 34 está exemplificada a realização de um tratamento com Deep Oscillation®.



*Figura 34 – Realização de tratamento com Deep Oscillation® [8]*

O equipamento de Deep Oscillation® permite ao fisioterapeuta selecionar os parâmetros desejados do tratamento a realizar para que este seja o mais eficaz possível. Esses parâmetros são: gama de frequência, *duty cycle*, duração do tratamento e função *burst*.

Ao invés de utilizar um dos exemplos de aplicador apresentados na Figura 33, é possível utilizar umas luvas de vinil que funcionam da mesma forma e permitem ao fisioterapeuta massajar o paciente como está representado na Figura 35.



*Figura 35 – Tratamento com Deep Oscillation® utilizando luvas [8]*

A utilização deste método origina os seguintes efeitos fisiológicos, os quais foram comprovados clinicamente [44]:

- Cicatrização de feridas;
- Redução da dor;
- Prevenção e reabsorção de edemas;
- Anti-inflamatório;
- Desintoxicação;
- Melhora a troficidade;
- Anti fibrótico.

## **2.6 Conclusão do Capítulo**

Neste capítulo foram apresentados e analisados os principais equipamentos de fisioterapia com que a empresa trabalha. Adicionalmente foram descritas as tecnologias empregues nesses equipamentos bem como as configurações disponíveis e os efeitos fisiológicos dos tratamentos e a sua importância no processo de reabilitação. Esta informação é essencial de forma a entender o funcionamento destes equipamentos para que as intervenções realizadas pela empresa sejam tão seguras e eficazes quanto possível.

No entanto, para além do funcionamento dos equipamentos, é também necessário conhecer e aplicar as regras e métodos mais adequados para a realização de intervenções de manutenção em equipamentos médicos. Desta forma, o capítulo seguinte apresenta as principais normas de manutenção aplicáveis a este tipo de equipamentos médicos.

## 3 MANUTENÇÃO

### 3.1 Definições Gerais

A manutenção é definida segundo a norma NP EN 13306 como “a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida” [45]. A manutenção tem uma elevada importância em qualquer uma das áreas de aplicação, no entanto, é na área da saúde que as consequências de uma manutenção deficiente de equipamentos médicos podem ser mais graves.

Assim sendo, é essencial que todas as ações de manutenção sejam realizadas com um elevado grau de exigência e qualidade, respeitando as normas existentes para o efeito.

Na Figura 36 está representado um esquema geral dos tipos de manutenção existentes.

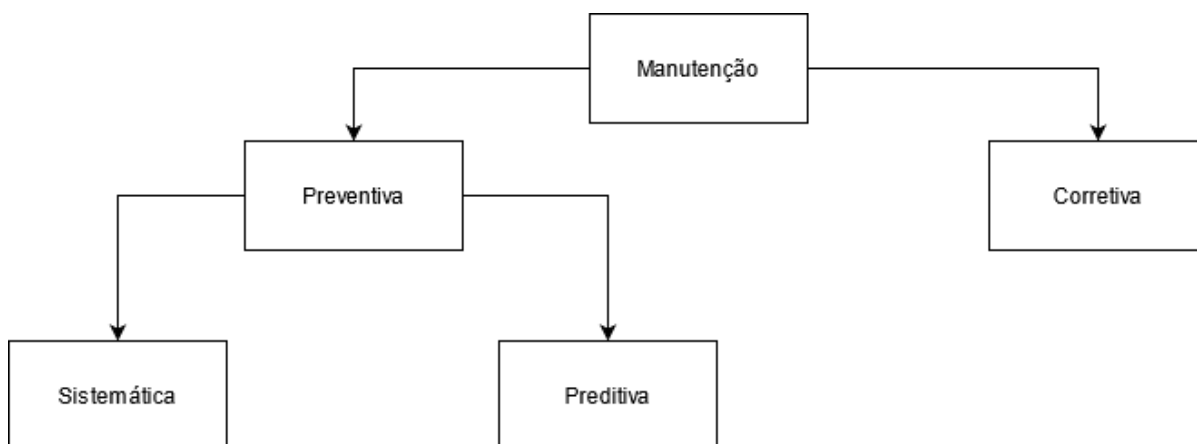


Figura 36 – Esquema geral dos tipos de manutenção (baseado em [46])

Neste capítulo será explicado cada um dos tipos de manutenção apresentados na figura.

#### 3.1.1 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é o tipo de manutenção que se efetua para certificar que o equipamento se encontra a funcionar dentro de parâmetros considerados normais. Neste contexto são realizadas ações de forma a prevenir avarias resultando numa diminuição do tempo de inatividade, num aumento do tempo de vida, aumento da segurança na utilização e em última instância numa redução de custos [47]. Este tipo de manutenção pode ainda dividir-se em dois subtipos distintos: manutenção sistemática e manutenção preditiva.

A manutenção preventiva sistemática é o tipo de manutenção em que as intervenções são programadas com base na utilização do equipamento ou no intervalo de tempo decorrido desde a última intervenção (manutenção sistemática de calendário). Se o equipamento em causa tiver uma taxa de utilização muito elevada, a programação das intervenções deverá ser baseada na utilização, caso contrário as manutenções preventivas serão calendarizadas para que as intervenções sejam feitas dentro do intervalo de tempo recomendado, de acordo com a

informação fornecida pelo fabricante. As ações realizadas neste tipo de intervenções compreendem usualmente lubrificações, substituição de líquidos, calibrações, reparação e substituição de componentes, entre outras [48] [49].

A manutenção preditiva, também conhecida como manutenção condicionada, baseia-se na análise da evolução do estado do equipamento para aferir a necessidade de uma intervenção. Esta análise pode ser realizada tendo por base vários indicadores de desempenho e funcionamento que darão informação da condição do equipamento. Este tipo de manutenção também pode ser requerida, caso se verifique o aparecimento de “sintomas” que indiquem o início de um processo de avaria, podendo revelar um funcionamento deficiente de componentes do equipamento. Alguns dos fatores indicadores de falha podem ser: alteração do nível de vibração, sobreaquecimentos, ruídos e erros do sistema. Desta forma poderá ser evitada uma avaria do equipamento resultando num tempo de inatividade mais reduzido [48] [49].

### **3.1.2 Manutenção Corretiva**

A manutenção preventiva, apesar das suas vantagens, nem sempre é a melhor solução para todos os tipos de equipamentos. Em certas situações, quando não é possível estabelecer um padrão para as falhas de um equipamento, a manutenção corretiva é a melhor opção. Este processo também é conhecido por *Run To Failure* (RTF) que pressupõe a operação de um equipamento até à sua falha.

No entanto, a execução da manutenção corretiva ocorre na maior parte das vezes quando um equipamento sofre uma avaria inesperada, impedindo o seu normal funcionamento. Na Figura 37 está representado um fluxograma do funcionamento do processo de resolução de avarias utilizado na Medicineto.

Após a receção de um pedido de manutenção, a equipa técnica da Medicineto dirige-se à localização do cliente caso esta se encontre num raio de 15 km. No caso de se verificar que não é possível resolver a avaria no local ou que a localização do cliente fica fora do perímetro estabelecido, o equipamento é recolhido. O primeiro passo do processo de reparação é realizar uma análise ao equipamento de forma a concluir se a equipa técnica tem as condições necessárias para efetuar a sua reparação. Se existirem as condições para a reparação do equipamento é elaborado um orçamento dos custos associados à mesma para apresentar ao cliente. Caso o cliente aceite o orçamento proposto, a equipa técnica efetua a reparação e entrega o equipamento ao cliente, se este se encontrar totalmente operacional. O equipamento pode ser devolvido sem reparação nas seguintes condições: se o cliente não aceitar o orçamento proposto, se não for possível adquirir todos os componentes necessários à sua reparação ou no caso de após a reparação o equipamento não ficar totalmente operacional. Por fim é emitida a fatura de reparação com os custos do serviço prestado.

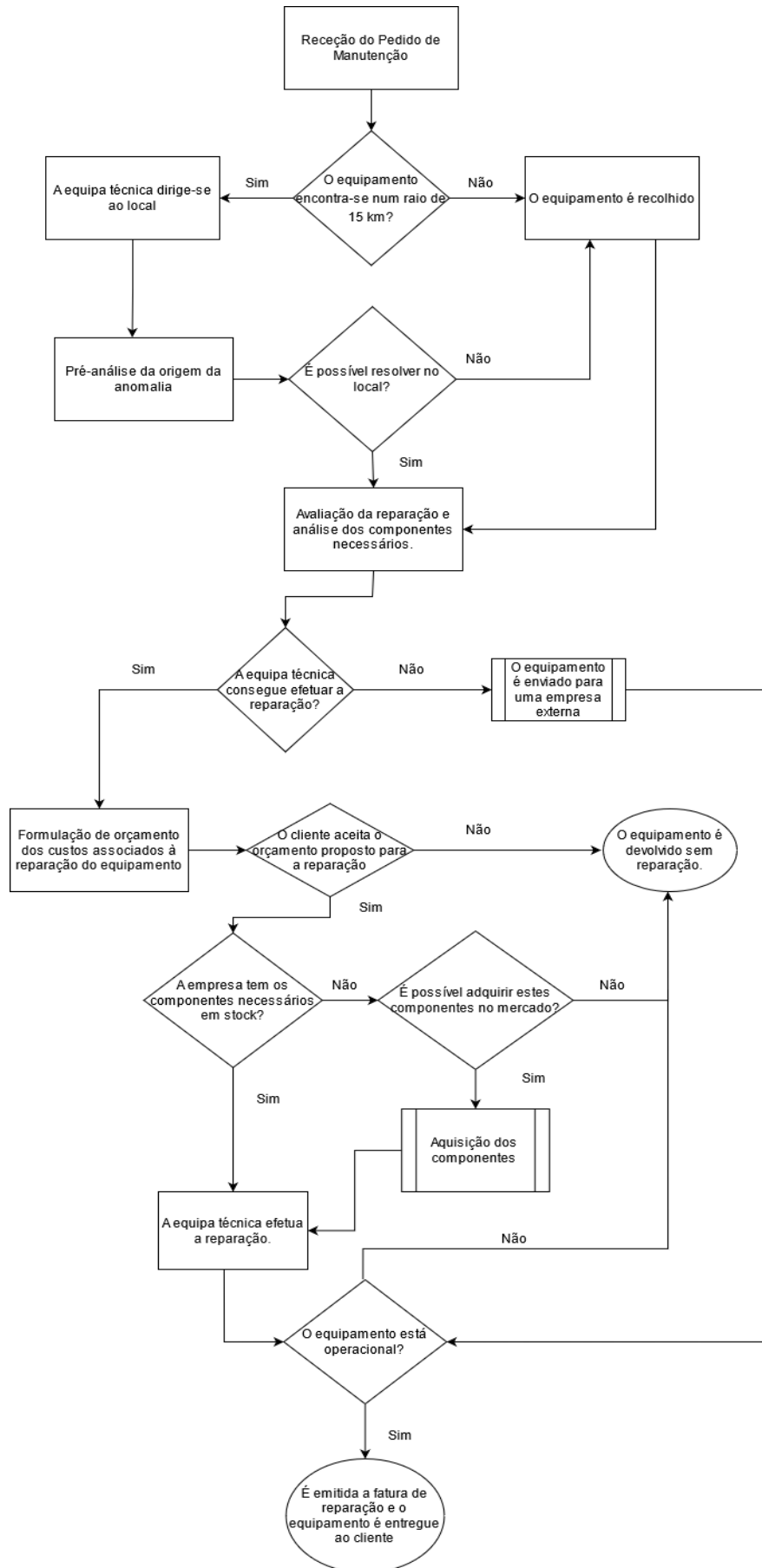


Figura 37 – Fluxograma do processo de manutenção corretiva (baseado em [50])

### 3.2 Ciclo de Vida de um Equipamento

O ciclo de vida de um equipamento é o intervalo de tempo desde a sua conceção à sua eliminação [51]. Nas instalações de saúde, o ciclo de vida de um equipamento tem início no momento em que este é adquirido e termina quando é declarado o seu abate. Durante todo o ciclo de vida o equipamento deve ser acompanhado por uma equipa de manutenção para que possua um desempenho e funcionamento indicado para que possa desempenhar a sua função corretamente. Caberá ao proprietário do equipamento e à equipa de manutenção a decisão sobre o tipo de manutenção que será efetuada durante o ciclo de vida do mesmo.

Na Figura 38 está representado um gráfico genérico da evolução da taxa de avarias (avarias por unidade de tempo) ao longo do ciclo de vida de um equipamento, assim como a descrição de cada uma das suas fases.

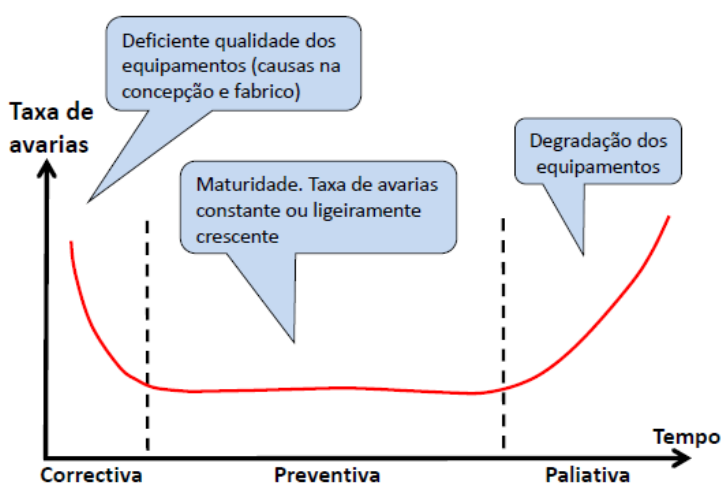


Figura 38 – Taxa genérica de avarias de um equipamento [46]

### 3.3 Normas Aplicáveis a Equipamentos Médicos

As normas são documentos de carácter voluntário que definem requisitos técnicos de produtos, métodos de ensaio e processos de produção de forma a dar resposta a problemas de natureza técnico-industrial. Hoje em dia a normalização abrange áreas de um âmbito mais alargado tais como: serviços, sistemas de gestão, questões de ordem ambiental, inovação e social [52].

As normas são classificadas como harmonizadas ou internacionais. Normas harmonizadas são formuladas a partir das normas internacionais tendo em conta a legislação e regulamentação nacional [51]. As entidades responsáveis pela elaboração de algumas das principais normas internacionais são a *International Electrotechnical Commission (IEC)* e a *International Organization for Standardization (ISO)*.

O Instituto Português da Qualidade (IPQ) é o Organismo Nacional de Normalização em Portugal.

A normalização proporciona os seguintes benefícios [53]:

- Aumento da competitividade;
- Compatibilidade e interoperabilidade;
- Controlo sobre a variedade e a utilização eficiente dos materiais, energia e recursos humanos;
- Economia de matérias-primas e dos tempos de produção, reduzindo os desperdícios;
- Eliminação das barreiras ao comércio;
- Facilidade de entrada em novos mercados;
- Proteção dos consumidores e dos interesses da comunidade;
- Redução do grau de incerteza do mercado;
- Reflexo da investigação, desenvolvimento e inovação;
- Segurança, saúde, proteção da vida e do ambiente;
- Simplificação da maioria dos produtos e procedimentos da vida quotidiana.

A saúde é uma das grandes áreas em que a normalização é essencial. A normalização ajuda a criar uma forte estrutura na qual o público, os profissionais e os legisladores confiam, garantindo serviços de saúde de alta qualidade. É através das normas que são desenvolvidos e melhorados alguns dos pontos mais importantes dos sistemas de saúde tais como: governação, liderança, prevenção e controlo de infeções e gestão de medicamentos. Todos estes fatores têm um grande impacto na qualidade dos serviços que o público recebe [54].

Neste capítulo são abordadas as normas IEC 60601 e IEC 62353. As normas IEC servem o propósito de regulamentar todos os aspetos de segurança relacionados com a utilização, aplicação, conexão e teste de equipamentos Elétricos Médicos (EM) e sistemas EM. Estas normas descrevem os procedimentos e testes que são necessários realizar para reduzir os perigos relacionados com a utilização de equipamentos elétricos, estabelecendo limites de diversos parâmetros para o efeito.

### **3.3.1 Norma IEC 60601**

A norma “IEC 60601: Equipamento elétrico para medicina” regulamenta os aspetos de segurança elétrica e mecânica de equipamentos EM e sistemas EM. O equipamento EM é definido com um equipamento elétrico ou parte aplicada para transferência de energia para o paciente, ou deteção dessa transferência de energia, destinado a ser utilizado no diagnóstico, tratamento ou monitorização de um paciente. Por seu lado, o sistema EM é a combinação, conforme especificado pelo seu fabricante, de acessórios do equipamento, em que pelo menos um dos quais vai ser interligado com um equipamento EM.

Esta norma é dividida em duas partes: IEC 60601-1 e IEC 60601-2, de tal forma que a partir de cada uma delas surgem várias normas colaterais e particulares de equipamentos EM com os requisitos de tipos de equipamento específicos.

O esquema representado da Figura 39 mostra como está organizada esta norma.

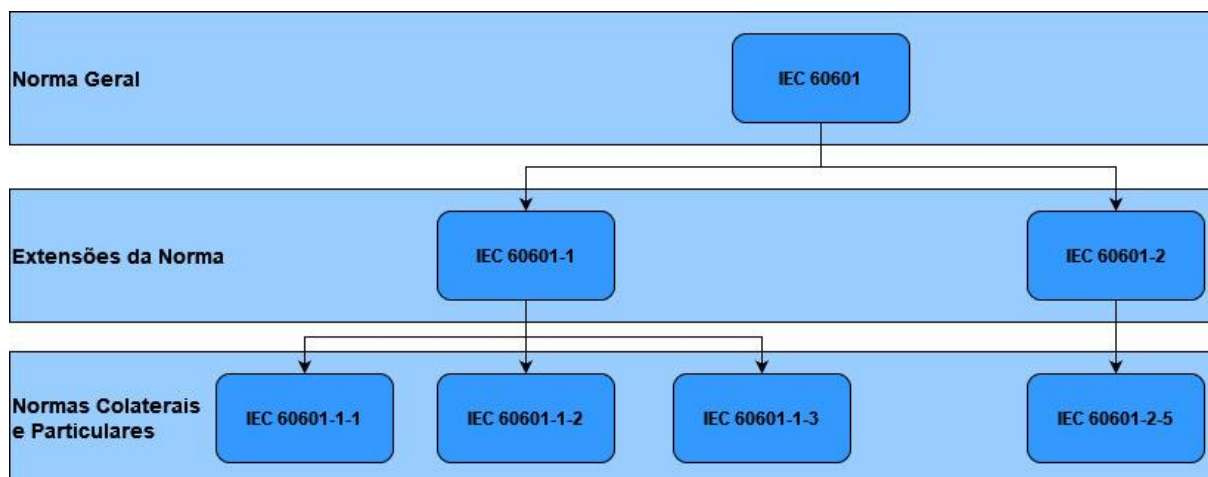


Figura 39 – Norma IEC 60601 (baseado em [56])

As normas particulares vão aumentar a especificidade das normas gerais, nas quais são baseadas. Assim, estas normas podem conter [56]:

- Requisitos que resultam no aumento da segurança básica e desempenho essencial;
- Requisitos que sejam menos restritos do que os da norma geral;
- Requisitos em relação ao desempenho, segurança, interface, entre outros;
- Exatidão dos dados de trabalho;
- Extensões e limitações sobre as condições envolventes.

Tendo em conta que as normas particulares são desenvolvidas especificamente para algum tipo de equipamento, a norma geral e as normas colaterais que abordem estes tipos de equipamentos tornam-se obsoletas [55]. As normas aplicáveis aos sistemas e equipamentos EM utilizados em fisioterapia estão enumeradas no Anexo B deste documento.

### 3.3.1.1 Norma IEC 60601-1

A norma “IEC 60601-1: Equipamento elétrico para medicina - Parte 1: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial” aborda os requisitos gerais de segurança básica e de desempenho essencial de equipamentos e sistemas EM. Para isso, os equipamentos e as suas partes aplicadas, que são acessórios que entrarão em contacto com o paciente, são classificados de acordo com a proteção contra o choque elétrico. Os equipamentos EM podem ser classificados em duas classes [55]:

- Classe I: Equipamento elétrico com proteção adicional (aterrada) contra choques elétricos, que para além do isolamento básico possui uma precaução de segurança adicional constituída por um condutor de proteção (de terra) que liga o chassis do equipamento à terra de serviço.;
- Classe II: Também conhecido como "isolamento duplo". A proteção do equipamento contra choque elétrico é feita por proteção adicional ao isolamento básico através de isolamento suplementar.

As partes aplicadas são classificadas como [30]:

- Tipo B: Parte aplicada com requisitos específicos para proteção contra choques elétricos. As partes aplicadas deste tipo são geralmente ligadas à terra;
- Tipo F: Parte aplicada eletricamente isolada da terra e de outras partes do equipamento. As partes aplicadas deste tipo dividem-se em duas subclasses: tipo BF e tipo CF;
- Tipo BF: Partes aplicadas do tipo F (eletricamente isolada da terra) com uma maior proteção contra o choque que as partes aplicadas do tipo B;
- Tipo CF: Partes aplicadas do tipo F (eletricamente isolada da terra) com um nível de proteção contra o choque superior às partes aplicadas do tipo BF.

A norma IEC 60601 definiu os requisitos para que a informação a colocar no equipamento EM possibilitem uma identificação inequívoca. Esta informação deve incluir o nome do fabricante, número do modelo, número de série e requisitos elétricos. Para além disso, a norma também define a simbologia que deve estar presente no equipamento e nas partes aplicadas. Na Figura 40 estão representados alguns exemplos desses símbolos.





























Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
	Corrente alternada		“ON”/ “OFF” (“push-push”)
	Corrente alternada trifásica		“ON”/ “OFF” (“push-button”)
	Corrente alternada trifásica com condutor neutro		“ON” para parte do equipamento
	Corrente contínua		“OFF” para parte do equipamento
	Corrente contínua e alternada		Paragem de emergência
	Terra (protetiva)		Parte aplicada do tipo B
	Terra		Parte aplicada do tipo BF
	Equipotencialidade		Parte aplicada do tipo CF
	Equipamento de Classe II		Equipamento da categoria AP
	Cuidado		Equipamento da categoria APG
	Instruções de operação		Tensão perigosa
	“ON” (ligar)		Parte aplicada do tipo B à prova de desfibrilhação
	“OFF” (desligar)		Parte aplicada do tipo BF à prova de desfibrilhação
	Não reutilizável		Parte aplicada do tipo CF à prova de desfibrilhação

Figura 40 – Símbolos Gerais [57]

Esta norma também descreve alguns procedimentos de teste de equipamentos EM. São descritos os processos de medição da corrente de fuga para a terra de proteção, para a caixa externa do equipamento e correntes de fuga do paciente. Estes testes são realizados sob condições de utilização normal tais como: fonte de alimentação invertida ou tensão nos terminais de entrada/saída e sob condições de falha única *Single Fault Condition* (SFC) definidas pela norma que podem ser: conexão à terra interrompida (terra aberta) e interrupção de algum dos condutores de alimentação do equipamento (neutro aberto).

O procedimento usual de teste de segurança elétrica é realizado sequencialmente nas condições descritas [55]:

1. Tensão de alimentação normal (sem SFC);
2. Tensão de alimentação normal (neutro aberto);
3. Tensão de alimentação normal (terra aberta);
4. Tensão de alimentação invertida (sem SFC);
5. Tensão de alimentação invertida (neutro aberto);
6. Tensão de alimentação invertida (terra aberta).

A norma IEC 60601-1 define o circuito que o dispositivo de medição, designado na literatura anglo-saxónica por *Measuring Device* (MD), deve ter de forma a simular as características elétricas de um corpo humano. Este dispositivo é necessário para a realização de alguns dos testes descritos nas normas IEC 60601 e IEC 62353, designadamente os testes de medição de correntes de fuga. Desta forma assegura-se que os resultados dos testes realizados darão informação sobre o funcionamento do equipamento ou sistema EM quando ligado a um paciente. Na Figura 41 está representado o circuito do dispositivo de medição MD.

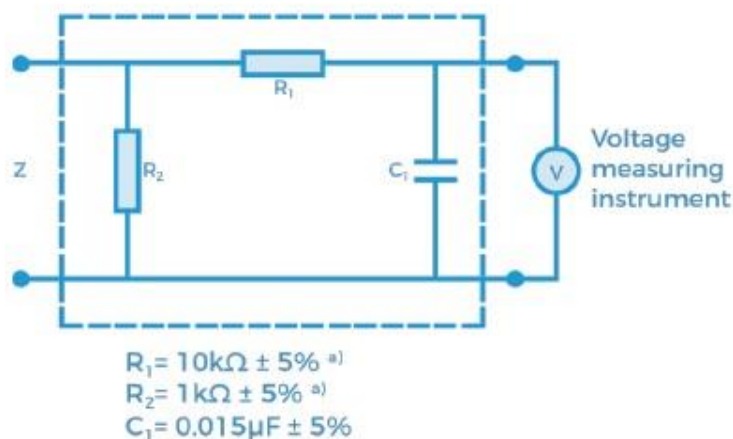


Figura 41 – Circuito do dispositivo de medição MD [55]

Os procedimentos de medição de correntes de fuga descritos nesta norma servem de base aos procedimentos descritos na norma IEC 62353, abordados na secção correspondente.

### 3.3.1.2 Norma IEC 60601-1-2

A norma “IEC 60601-1-2: Equipamento elétrico para medicina - Parte 1-2: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial; Norma Colateral: Compatibilidade Eletromagnética – Requisitos E Testes” foi elaborada de forma a estabelecer e especificar os requisitos e testes de verificação de compatibilidade eletromagnética de dispositivos médicos e servir como base para as normas particulares de compatibilidade eletromagnética.

Esta norma define que os equipamentos e sistemas EM não devem emitir perturbações eletromagnéticas que afetem os serviços de rádio ou outro tipo de equipamentos ou ainda o desempenho essencial de equipamentos e sistemas EM. Estes equipamentos e sistemas devem ter imunidade adequada para poder fornecer a sua segurança básica e desempenho essencial na presença de perturbações eletromagnéticas.

De acordo com esta norma, os equipamentos EM e sistemas EM que tenham a capacidade de emitir sinais de rádio frequência devem ser identificados com marcações externas e acompanhados por manuais com as instruções de uso fornecidos pelo fabricante.

Esta norma é apenas aplicável a equipamentos elétricos considerados equipamentos EM e sistemas EM. Outros tipos de equipamentos elétricos estão isentos do cumprimento dos requisitos de teste de compatibilidade eletromagnética descritos pela norma [51].

### 3.3.1.3 Norma IEC 60601-2-5

A norma “IEC 60601-2-5: Equipamento elétrico para medicina - Parte 1-4: Requisitos Particulares para a Segurança do Equipamento de Ultrassom para Fisioterapia” serve o propósito de estabelecer os requisitos específicos de segurança e desempenho para equipamentos de ultrassom utilizados em fisioterapia.

Esta norma define quais os valores limite que não devem ser ultrapassados durante a realização de testes a equipamentos de ultrassom para fisioterapia. Na tabela seguinte são apresentados alguns desses valores [52].

*Tabela 1 – Valores limite dos parâmetros de teste de equipamentos de ultrassom [56]*

Parâmetros	Valores Limite
Intensidade Efetiva	$< 3 \text{ W/cm}^2 \pm 30\%$
Frequência central	1-3 MHz
Desvio entre valor medido e valor programado	$\pm 20\%$
Tempo de tratamento	$< 30 \text{ min} \pm 10\%$
Temperatura do transdutor em adultos normais	$< 43 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura em crianças ou pessoas em condição de risco	$< 41 \text{ }^\circ\text{C}$

### 3.3.2 Norma IEC 62353

A norma “IEC 62353 Equipamento elétrico para medicina; Ensaios recorrentes e ensaios após reparação do equipamento elétrico para medicina” define os requisitos para testes de segurança elétrica de equipamentos e sistemas EM durante intervalos de rotina.

O propósito desta norma é fornecer um padrão uniforme que garante práticas seguras e reduzir a complexidade da norma IEC 60601-1. Todos os testes são baseados nos procedimentos de medidas de correntes de fuga definidos pela norma IEC 60601, sendo que foram removidos alguns aspetos de forma a melhorar a segurança e praticidade da mesma.

Esta norma define a sequência de testes a realizar após a reparação do equipamento, descreve os procedimentos de teste e indica quais os intervalos de valores que se devem obter de forma a verificar o bom funcionamento do equipamento. Na Figura 42 está esquematizado o processo sequencial de teste de um equipamento EM, segundo a norma IEC 62353.

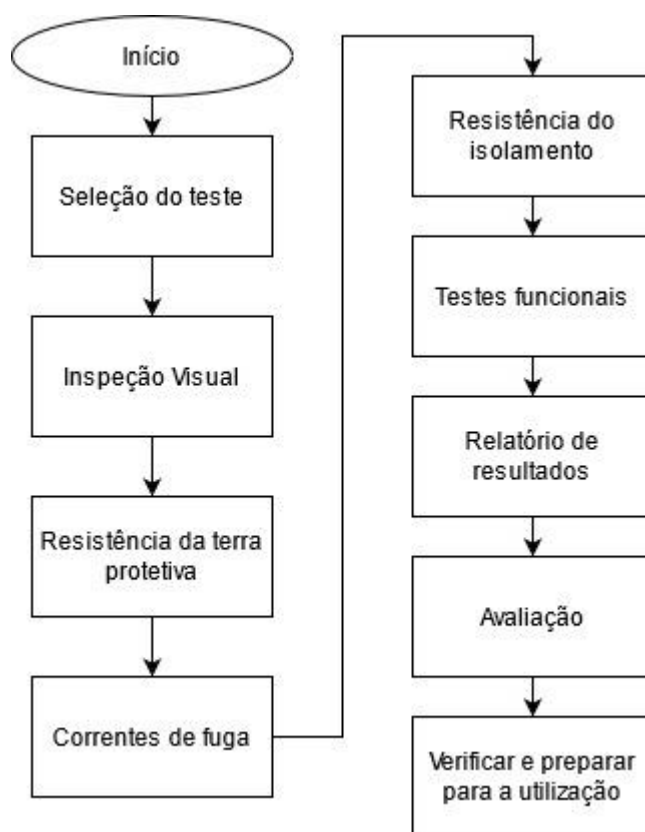


Figura 42 – Sequência de teste de um equipamento EM (baseado em [58] e [59])

A incorporação da norma IEC 62353 por parte de qualquer organização requer alguma preparação, pelo que apesar de esta norma ter sido publicada pela primeira vez em 2007, muitas empresas e organizações ainda se encontram em processo de adaptação às técnicas de teste de segurança elétrica descritas.

É sobre os fabricantes dos equipamentos EM e sistemas EM que recai a responsabilidade de recomendar os procedimentos de teste apropriados para cada equipamento, ainda assim, esta norma produziu um claro impacto em empresas de serviços médicos, engenharia biomédica e outros departamentos técnicos.

A escolha dos métodos e procedimentos de teste apropriados requer uma compreensão do propósito e benefício da utilização dos diferentes testes disponíveis. De seguida são descritos alguns dos testes mais relevantes descritos na norma, que estão representados na Figura 42.

### 3.3.2.1 Inspeção Visual

O processo de inspeção visual não é claramente definido pela norma IEC 60601, porém inspeções visuais são uma parte crítica da generalidade das inspeções de segurança durante a vida funcional de um equipamento médico. Na maioria dos casos, 70% de todas as falhas são detetadas durante uma inspeção visual [59].

Uma inspeção visual é um procedimento relativamente fácil, que é realizado para garantir que o equipamento EM em uso ainda está em conformidade com as especificações divulgadas pelo fabricante e não sofreu nenhum dano externo ou contaminação.

No processo de inspeção visual deve-se dar particular atenção aos seguintes itens [58]:

- Caixa externa do equipamento (carcaça) – procurar por danos, rachaduras etc.;
- Contaminação - procurar por obstrução de peças móveis, pinos de conexão etc.;
- Cablagem (alimentação, peças aplicadas etc.) – verificar a existência de cortes, conexões erradas, etc.;
- Classificação do fusível – verificar os valores corretos após substituição;
- Marcação e rotulagem – verificar a integridade e marcações de segurança;
- Integridade das peças mecânicas – verificar se há quaisquer obstruções.

### 3.3.2.2 Teste da ligação à terra

Os condutores de proteção à terra são projetados de forma a permitir um caminho fácil e seguro (baixa resistência) para as fugas elétricas e correntes de falha fluírem. Esta ligação fornece um importante meio para reduzir o risco de ferimentos por choque elétrico e também interrompe a libertação de energia.

Em equipamentos elétricos de Classe I, a resistência do condutor de terra deve ser de valor suficientemente baixo de forma a prevenir que a tensão das partes metálicas externas chegue a um nível em que a diferença de potencial represente um perigo para a vida. Para que isto não aconteça, os equipamentos EM de Classe I requerem múltiplos testes de ligação à terra de forma a validar as conexões de partes aplicadas de metal à caixa externa do equipamento [59].

Um teste de verificação da qualidade da ligação à terra é feito através da medição da resistência entre o pino terra e a carcaça do equipamento. Na Figura 43 está esquematizado o modo de medição da resistência à terra.

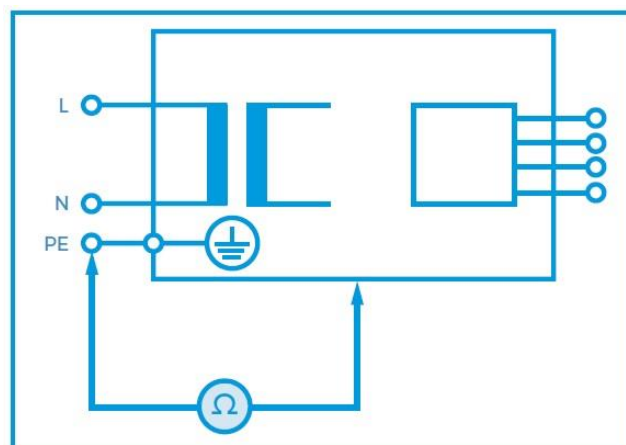


Figura 43 – Esquema de teste de ligação à terra [59]

A norma IEC 62353 requer uma corrente de teste mínima de 200 mA, tanto em corrente alternada (CA) como em corrente contínua (CC). Ao usar uma CC de teste, a resistência deve ser testada em ambas as polaridades da corrente de teste. A leitura mais alta determinará o resultado de aprovação ou reprovação desse teste. A tensão da corrente de teste não deve ultrapassar os 24 V.

Os valores limite definidos nesta norma são [58]:

- 100 m $\Omega$  para um cabo de alimentação separável com comprimento até 3 metros;
- 300 m $\Omega$  para um equipamento de Classe I, incluindo o cabo de alimentação com comprimento inferior ou igual a 3 metros;
- 500 m $\Omega$  para um sistema médico constituído por várias peças médicas e não médicas de equipamentos.

Existem algumas considerações a ter em conta na realização de medições de teste de resistência à terra. A utilização de correntes de teste elevadas (25 A), pode levar a conclusões erradas acerca da qualidade da ligação terra, pois a utilização de uma corrente de teste elevada pode reparar temporariamente contactos mecânicos com elevada resistência. Os problemas mais comuns de resistência de contactos são [58]:

- Resistência de restrição (onde a secção transversal condutiva é reduzida);
- Resistência da película (possível camada resistiva entre as duas superfícies condutoras devido a oxidação da película, sobreposição de poeiras, etc.);

A utilização de correntes de teste reduzidas, tipicamente inferiores a 8 A, não permite superar a resistência de contactos e por isso poderão ser um indicador da baixa qualidade de ligação à terra. No entanto os resultados de várias medidas realizadas poderão ser bastante díspares, sendo difícil retirar conclusões exatas e precisas.

Por outro lado, a utilização de correntes de teste elevadas (superiores a 10 A), permite obter valores de medidas muito semelhantes, ainda que exista uma constrição na ligação à terra que poderá ser aliviada pela corrente elevada.

Assim, foi definido que a combinação de um pré pulso de corrente de teste elevada seguido de medição da resistência utilizando uma corrente de teste de 200 mA é a forma mais precisa e exata de realizar este teste.

### 3.3.2.3 Teste de Resistência de Isolamento

O risco de fugas elétricas pode ser minimizado através do cumprimento de alguns critérios de projeto, como por exemplo, a existência de um nível de isolamento elétrico significativo entre o operador ou paciente e as partes aplicadas. Este isolamento pode ser alcançado através do espaçamento físico de componentes, escolha de componentes e materiais dielétricos apropriados de forma a atingir os níveis exigidos de isolamento, garantindo ao mesmo tempo que o dispositivo funcione corretamente.

O nível de isolamento é frequentemente testado através do teste de resistência de isolamento. Neste teste é aplicada uma tensão de CC entre 250 – 500 V entre vários pontos do equipamento. Os valores da resistência de isolamento são medidos em megaohms (MΩ).

A resistência de isolamento é normalmente verificada aplicando 500 V em CC entre [58]:

- A entrada (os condutores fase e neutro conectados entre si) e a carcaça (terra de proteção em equipamentos de Classe I);
- A saída (partes aplicadas conectadas entre si) e a carcaça (terra de proteção na Classe I);
- A entrada (fase e neutro) e a saída (partes aplicadas) para as partes aplicadas do tipo flutuante (BF e CF).

O equipamento deve estar ligado durante a realização do teste para que a tensão de teste passe para além do *switch* de alimentação, caso contrário apenas se está a testar o isolamento do cabo de alimentação.

De seguida são apresentados os vários testes realizados para medição da resistência de isolamento em diferentes tipos de equipamentos.

#### Teste de resistência de isolamento entre a entrada e a carcaça

Este teste é realizado para verificar se a parte da alimentação está devidamente isolada da terra (Classe I) ou da carcaça (Classe II). Na Figura 44 e Figura 45 estão representados estes testes.

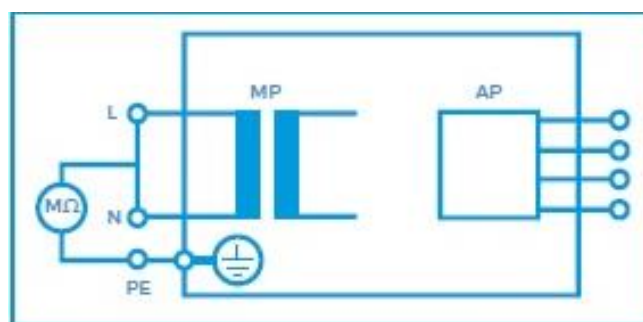


Figura 44 – Teste de isolamento entre a alimentação e a terra (Classe I) [59]

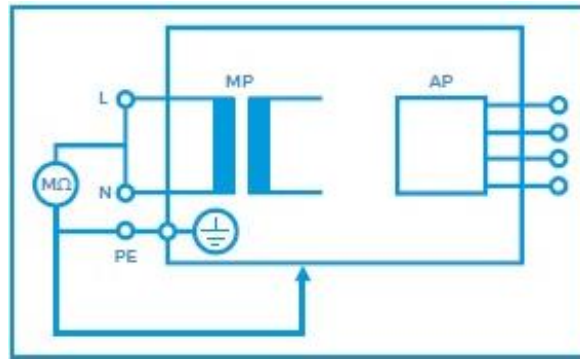


Figura 45 – Teste de isolamento entre alimentação e carcaça (Classes I e II) [59]

Durante a realização deste teste é aplicada uma tensão de 500 V de CC entre o pino terra e ambos os pinos fase e neutro, ou seja, em paralelo com a medição da resistência de isolamento.

### Teste de resistência de isolamento entre a saída e a carcaça

Este teste é realizado para averiguar se as partes aplicadas estão adequadamente isoladas da terra (Classe I) ou da carcaça do equipamento (Classe II). A Figura 46 e Figura 47 mostram uma representação desses testes.

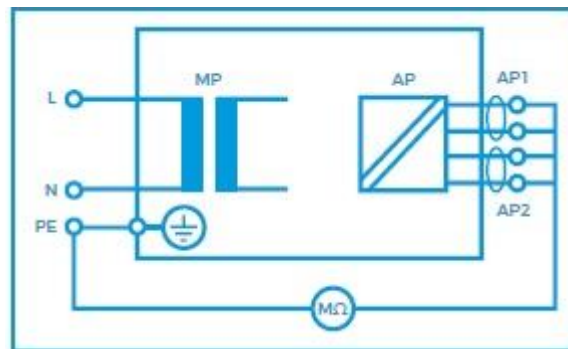


Figura 46 – Teste de isolamento entre as partes aplicadas e a terra (Classe I) [59]

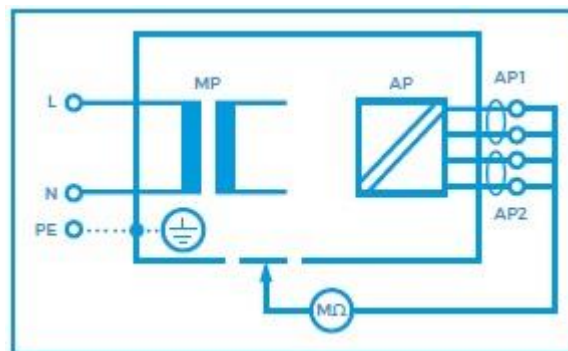


Figura 47 – Teste de isolamento entre as partes aplicadas e a carcaça (Classes I e II) [59]

De igual forma ao realizado no teste anterior é aplicada uma tensão de 500 V de CC em paralelo com a medição da resistência de isolamento, ou seja, entre as partes aplicadas e a terra ou a carcaça.

### Teste de resistência de isolamento entre a saída e a entrada

Através deste teste é medida a resistência de isolamento entre as partes aplicadas e a alimentação. Este teste é aplicável apenas a equipamentos com partes aplicadas dos tipos BF e CF. Neste caso o método de medição é igual para equipamentos de Classe I e Classe II. A Figura 48 representa o esquema de ligações a efetuar durante este teste.

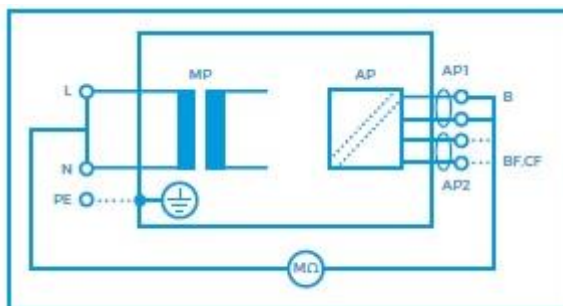


Figura 48 – Teste de isolamento entre as partes aplicadas e alimentação [59]

Tal como nos testes anteriores, é aplicada uma tensão de 500 V de CC em paralelo com a medição da resistência de isolamento.

Na Tabela 2 são apresentados os valores limite definidos pela norma IEC 62353. Os valores definidos pelo fabricante do equipamento podem ser relativamente diferentes e devem ser fornecidos pelo mesmo [56].

Tabela 2 – Valores limite da resistência de isolamento [59]

Figuras	Classe	B	BF	CF
Figura 44	I	$\geq 2 \text{ M}\Omega$	$\geq 2 \text{ M}\Omega$	$\geq 2 \text{ M}\Omega$
Figura 45	I e II	$\geq 7 \text{ M}\Omega$	$\geq 7 \text{ M}\Omega$	$\geq 7 \text{ M}\Omega$
Figura 46	I	$\geq 70 \text{ M}\Omega$	$\geq 70 \text{ M}\Omega$	$\geq 70 \text{ M}\Omega$
Figura 47	I e II	$\geq 70 \text{ }\Omega$	$\geq 70 \text{ M}\Omega$	$\geq 70 \text{ M}\Omega$
Figura 48	I	$\geq 2 \text{ M}\Omega$	$\geq 70 \text{ M}\Omega$	$\geq 70 \text{ M}\Omega$
Figura 48	II	$\geq 7 \text{ M}\Omega$	$\geq 70 \text{ M}\Omega$	$\geq 70 \text{ M}\Omega$

#### 3.3.2.4 Medição de correntes de fuga

A medição de correntes de fuga é um importante aspeto a ter em conta durante o teste de um equipamento e verificação do seu correto funcionamento. Estas correntes podem não ser detetáveis durante a utilização do equipamento, no entanto, podem ter um impacto significativo na segurança do utilizador do equipamento e do paciente.

As correntes de fuga são, segundo a norma IEC 62353, divididas em dois tipos [58]:

- Fugas de corrente nos equipamentos – corrente de fuga total que deriva da fonte de alimentação para a terra, através das partes aplicadas e da carcaça do equipamento;
- Fugas de corrente nas partes aplicadas – corrente de fuga que flui de uma parte aplicada para a carcaça ou para a terra do equipamento.

Esta norma descreve três métodos de medição de correntes de fuga:

- Método direto;
- Método diferencial;
- Método alternativo.

De seguida estes métodos de medição são descritos em detalhe, apresentado os esquemas de medição correspondentes.

### Método direto

O método direto é utilizado para medir correntes de fuga colocando diretamente no caminho da passagem da corrente um dispositivo de medição (MD), que simula as características do corpo humano. Na secção 3.3.1.1 foi apresentado o circuito deste dispositivo e as suas características. Este método pode ser utilizado na medição de correntes de fuga dos equipamentos e também das partes aplicadas.

Nos equipamentos é medida a corrente total que deriva da fonte de alimentação para a terra, através das partes aplicadas e da carcaça do equipamento.

Na Figura 49 estão representados os esquemas de medição de correntes de fuga em equipamentos de classes I e II.

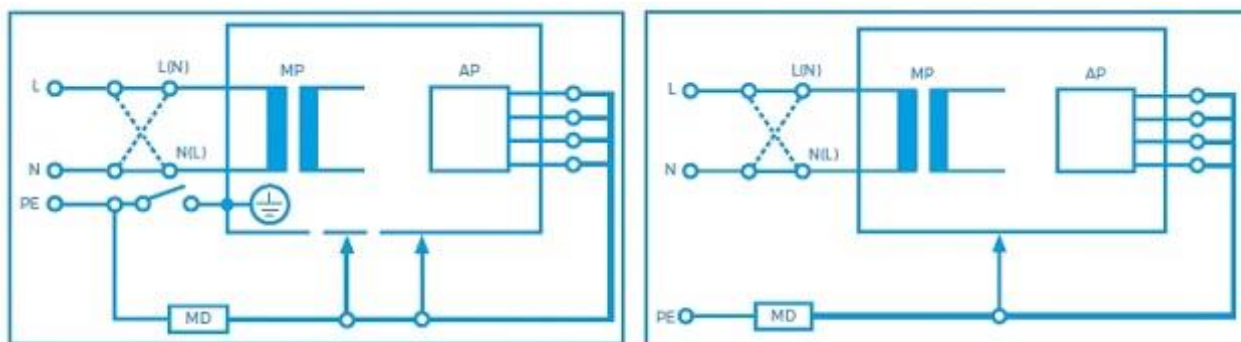


Figura 49 – Medição de corrente de fuga pelo método direto nos equipamentos de Classe I e de Classe II [59]

Para a realização destes testes de medição de correntes de fuga, todas as partes aplicadas do equipamento devem estar agrupadas e ligadas à terra através do MD descrito na Figura 41 que possui uma resistência de 1 kΩ, simulando a resistência do corpo humano. Para além disso a conexão à terra do equipamento deve estar desligada para assegurar que as medidas sejam feitas nas piores condições possíveis.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores limite de corrente de fuga num equipamento. Os valores dependem da classe do equipamento e do tipo de partes aplicadas.

Tabela 3 – Valores limite da corrente de fuga dos equipamentos (método direto) [59]

Tipo de Equipamento	Tipo de Parte Aplicada		
	B	BF	CF
Equipamento de Classe I	500 $\mu$ A	500 $\mu$ A	500 $\mu$ A
Equipamento de Classe II	100 $\mu$ A	100 $\mu$ A	100 $\mu$ A

A medição de correntes de fuga nas partes aplicadas é feita medindo a corrente de fuga total decorrente da combinação das conexões ao paciente de uma parte aplicada para a terra e para qualquer parte (condutora ou não condutora) da carcaça sob a condição de falha de alimentação das partes aplicadas. Na Figura 50 estão representados os esquemas de medição de correntes de fuga nas partes aplicadas pelo método direto.

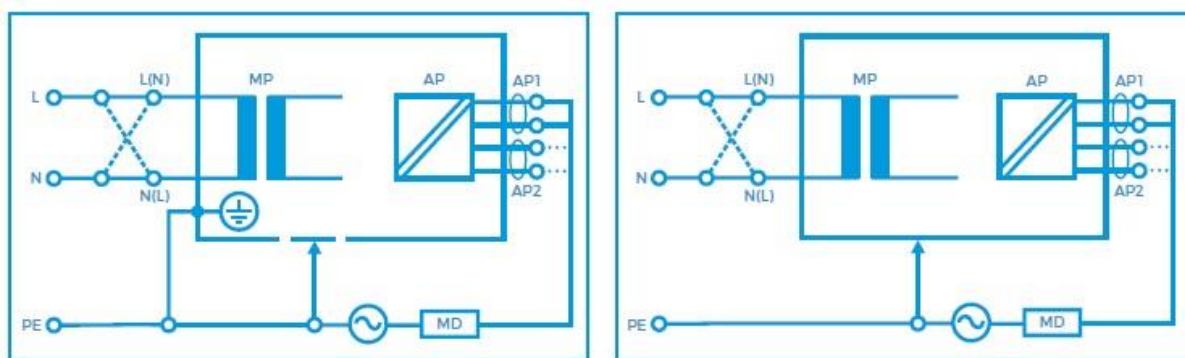


Figura 50 – Medição de correntes de fuga de partes aplicadas pelo método direto em equipamentos de Classe I e II [59]

Para a realização do teste de medição de correntes de fuga nas partes aplicadas, todas as conexões ao paciente derivadas de uma parte aplicada e as partes acessíveis, aterradas (equipamentos de classe I) e não aterradas (equipamentos de Classe II), estão agrupadas e ligadas à terra através do MD, que possui uma resistência de 1 k $\Omega$ . A corrente de fuga de cada parte aplicada é medida individualmente. A medição de correntes de fuga das partes aplicadas implica a utilização de um potencial de corrente limitada (3.5 mA) entre as partes aplicadas e a terra ou carcaça do equipamento. A limitação da corrente é atingida devido a uma resistência em série com o dispositivo de medição que nos esquemas está integrada na fonte de alimentação limitada [56].

Na Tabela 4 são apresentados os valores limite de corrente de fuga nas partes aplicadas, medidas através do método direto.

Tabela 4 – Valores limite da corrente de fuga das partes aplicadas (método direto) [59]

Tipo de Equipamento	Tipo de Parte Aplicada		
	B	BF	CF
Equipamento de Classe I e Classe II	N/A	5000 $\mu$ A	50 $\mu$ A

Algumas das vantagens da utilização deste método na medição de correntes de fuga nos equipamentos e nas partes aplicadas são [58]:

- Medição de correntes de fuga em CA e CC;
- Alta precisão comparativamente a outros métodos;
- Medição da potencial corrente de fuga que atravessa um paciente, através do dispositivo de medição.

Deve-se ter em consideração:

- A resistência de  $1\text{ k}\Omega$  do dispositivo de medição interrompe o condutor de baixa resistência da terra, o que pode causar perigo quando se testam equipamentos com falhas;
- Diferenças entre os condutores fase e neutro poderão levar a leituras erradas, pelo que as medidas devem ser feitas em ambas as polaridades.

### Método Diferencial

O método diferencial consiste na medição da diferença entre a corrente do condutor da fase e a corrente do condutor do neutro, que corresponde à corrente de fuga. As correntes que atravessam os condutores da fase e do neutro têm direções opostas, o que significa que os campos magnéticos criados também terão direções opostas e intensidades proporcionais à intensidade das correntes. No condutor da fase tem-se a corrente funcional e a corrente de fuga, enquanto no condutor do neutro está apenas a corrente funcional. Subtraindo um pelo outro obtém-se o valor da corrente de fuga. Na prática, este método é executado passando ambos os condutores por um transformador de corrente (representado por M nos esquemas de medição da Figura 51). Isto resulta no anulamento dos campos magnéticos das correntes funcionais dos dois condutores, restando apenas o campo magnético da corrente de fuga que passa no condutor da fase. Assim, a corrente induzida no transformador de corrente corresponde apenas à corrente de fuga [59]. Na Figura 51 estão representados os esquemas de medição de correntes de fuga nos equipamentos através do método diferencial.

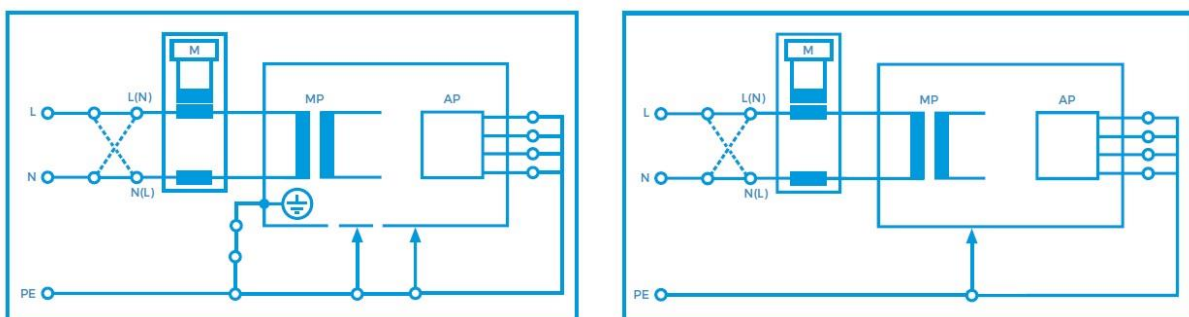


Figura 51 – Medição de corrente de fuga pelo método diferencial nos equipamentos de Classe I e de Classe II [59]

Todas as partes aplicadas e todas as partes (condutoras e não condutoras) da carcaça do equipamento estão agrupadas e ligadas à terra para que seja medida a corrente de fuga total através do circuito diferencial. O teste é realizado com a conexão do equipamento à terra desligada para segurança do utilizador.

O método diferencial é apenas aplicável na medição de correntes de fuga dos equipamentos.

Na Tabela 5 são apresentados os valores limite de correntes de fuga dos equipamentos, medidas através do método diferencial.

*Tabela 5 – Valores limite da corrente de fuga dos equipamentos (método diferencial) [59]*

Tipo de Equipamento	Tipo de Parte Aplicada		
	B	BF	CF
Equipamento de Classe I	500 $\mu$ A	500 $\mu$ A	500 $\mu$ A
Equipamento de Classe II	100 $\mu$ A	100 $\mu$ A	100 $\mu$ A

As vantagens da utilização deste método são [58]:

- Medição da corrente de fuga total do equipamento;
- O dispositivo de medição (MD) não se encontra em série com o condutor da terra de proteção, pelo que a resistência desse condutor se torna muito mais baixa comparativamente ao método direto (resistência de 1 k $\Omega$ ), resultando numa maior segurança durante o teste.

Deve-se ter em consideração alguns aspetos:

- O método diferencial não é indicado para medir correntes baixas (<100  $\mu$ A);
- As medições podem ser influenciadas por campos magnéticos externos;
- Os métodos direto e alternativo providenciam resultados mais precisos.

### **Método Alternativo**

O método alternativo consiste na medição da corrente de fuga curto circuitando as entradas de fase e neutro e utilizando uma fonte de alimentação com corrente limitada como apresentado na Figura 53. A limitação da corrente é efetuada por uma resistência de 66 k $\Omega$ . Tendo em conta que a tensão de alimentação nunca deverá ultrapassar o 230 V, a corrente no circuito estará limitada a 3.5 mA. Esta resistência fará com que a corrente de fuga medida não seja a corrente de fuga real, pelo que é necessário calcular a corrente de fuga real através dos valores de corrente de fuga medidos [59].

Na Figura 52 está representado o esquema de um circuito simplificado de forma a ilustrar de forma mais clara a aplicação deste método.

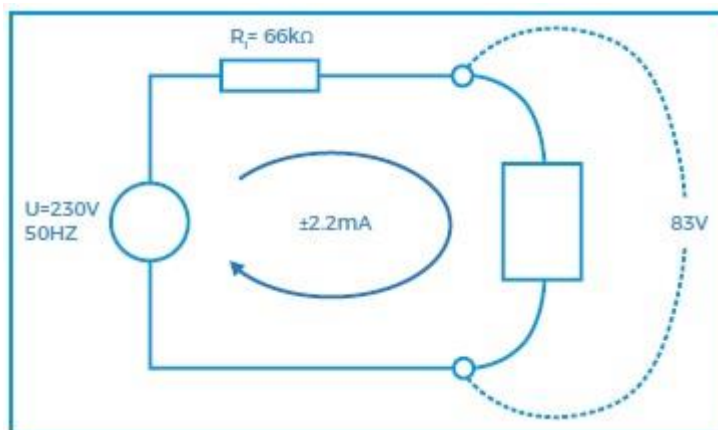


Figura 52 – Exemplo de circuito de alimentação de corrente limitada para medição de correntes de fuga pelo método alternativo [59]

A fonte de alimentação do circuito produz um sinal de corrente alternada com 230 V e 50 Hz de frequência. Em série com a fonte de alimentação está uma resistência de 66 kΩ e a resistência da parte aplicada do equipamento, que neste exemplo possui o valor de 37 kΩ. Aplicando a lei de Ohm  $V=R \cdot I$ , é calculado o valor da corrente que atravessará o circuito (2.23 mA). Assim, é possível calcular a tensão entre os terminais da parte aplicada (83 V) e conseqüentemente a corrente, que corresponderá à corrente de fuga real. A corrente de fuga real neste exemplo é calculada através da seguinte equação:

$$\frac{\text{Tensão de entrada}}{\text{Tensão da parte aplicada}} = \frac{\text{Corrente de fuga}}{\text{Corrente no circuito}}$$

$$\text{Corrente de fuga} = 230/83 \times 2.23 = 6 \text{ mA} \quad (1)$$

Este cálculo é feito automaticamente pelo dispositivo de medição.

Na Figura 53 estão representados os esquemas de medição de correntes de fuga nos equipamentos através do método alternativo.

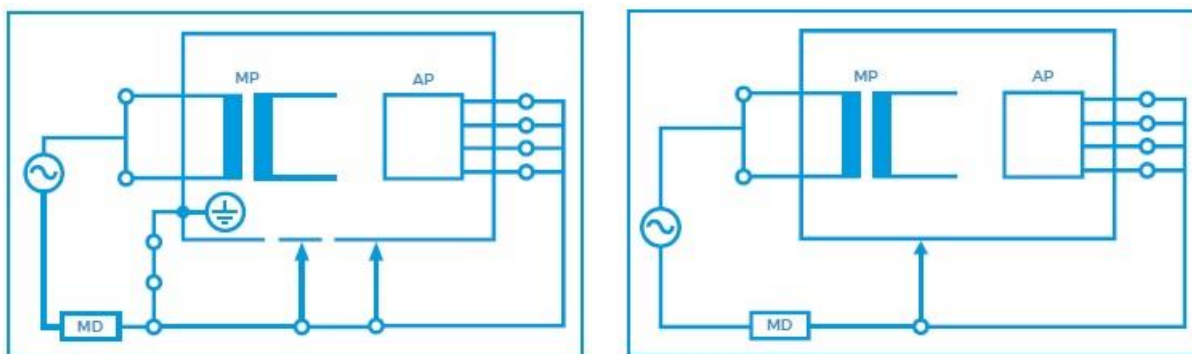


Figura 53 – Medição de corrente de fuga pelo método alternativo nos equipamentos de Classe I e de Classe II [59]

Para a realização destes testes, todas as partes aplicadas e todas as partes condutoras e não condutoras da carcaça do equipamento devem estar agrupadas e ligadas à terra através do dispositivo de medição e à fonte de tensão.

Na Tabela 6 são apresentados os valores limite de correntes de fuga dos equipamentos, medidas através do método alternativo.

Tabela 6 – Valores limite da corrente de fuga dos equipamentos (método alternativo) [59]

Tipo de Equipamento	Tipo de Parte Aplicada		
	B	BF	CF
Equipamento de Classe I	1000 $\mu$ A	1000 $\mu$ A	1000 $\mu$ A
Equipamento de Classe II	500 $\mu$ A	500 $\mu$ A	500 $\mu$ A

Os esquemas representados na Figura 54 mostram como é realizado o teste de medição de correntes de fuga nas partes aplicadas.

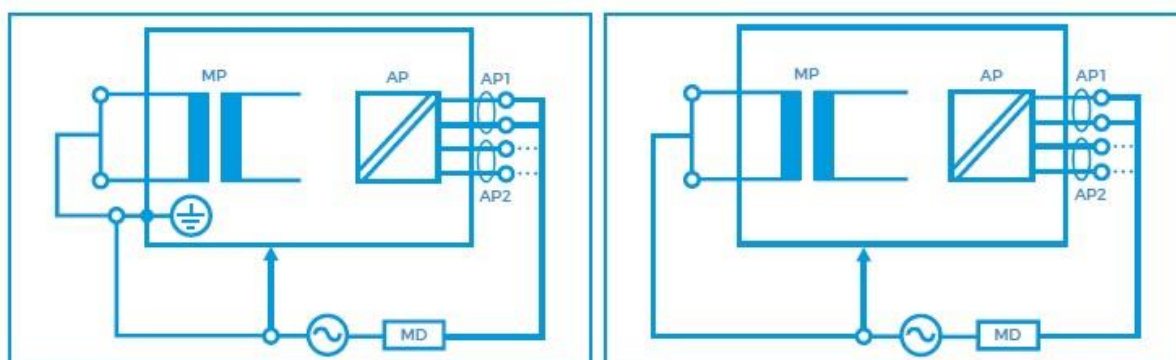


Figura 54 – Medição de correntes de fuga de partes aplicadas pelo método alternativo em equipamentos de Classe I e II [59]

Assim como na medição de correntes de fuga das partes aplicadas pelo método direto, para a realização do teste de medição de correntes de fuga nas partes aplicadas pelo método alternativo todas as conexões ao paciente derivadas de uma parte aplicada e as partes acessíveis, aterradas (equipamentos de classe I) e não aterradas (equipamentos de Classe II), estão agrupadas e ligadas à fonte de alimentação através do equipamento de medição, que possui uma resistência de 1 k $\Omega$ . A corrente de fuga de cada parte aplicada é medida individualmente.

Na Tabela 7 são apresentados os valores limite de correntes de fuga das partes aplicadas, medidas através do método alternativo.

Tabela 7 – Valores limite da corrente de fuga das partes aplicadas (método alternativo) [59]

Tipo de Equipamento	Tipo de Parte Aplicada		
	B	BF	CF
Equipamento de Classe I e Classe II	N/A	5000 $\mu$ A	50 $\mu$ A

Algumas vantagens da utilização deste método são [58]:

- Tendo em conta que os condutores da fase e neutro estão ligados, a polaridade da alimentação não tem relevância, pelo que é apenas necessária uma medição;
- Visto que o equipamento submetido a teste não se encontra ligado à alimentação da rede elétrica, o método alternativo tem um nível de segurança superior aos descritos anteriormente;
- Os testes podem ser realizados a partir de um dispositivo alimentado por uma bateria;

Deve-se ter em consideração que o equipamento não será ativo durante a realização do teste, logo as correntes de fuga com os circuitos do equipamento ligados não serão medidas.

Todos os resultados dos testes descritos neste documento, contidos na norma IEC 62353, devem ser registados num documento semelhante ao apresentado no Anexo A [59].

### **3.4 Conclusão do Capítulo**

Neste capítulo foram apresentados e analisados diversos aspetos relativos à importância da manutenção no ciclo de vida de um equipamento médico, assim como os processos, regras e parâmetros mais importantes, segundo as normas de manutenção vigentes, para que as intervenções tenham uma elevada taxa de sucesso. O capítulo seguinte descreve algumas das intervenções de manutenção mais relevantes realizadas durante o estágio na Medicineto.

## 4 INTERVENÇÕES REALIZADAS

Ao longo do estágio foram realizadas diversas intervenções de manutenções preventivas e corretivas a diferentes tipos de equipamentos médicos. Neste capítulo são descritas algumas dessas intervenções realizadas em alguns dos principais tipos de equipamentos de fisioterapia de marcas que a Medicineto representa em Portugal.

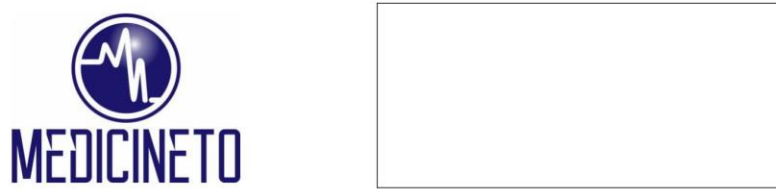
### 4.1 Tarefas de Manutenção Preventiva

As tarefas de manutenção preventiva são realizadas de acordo com o contrato estabelecido entre a Medicineto e o cliente no que diz respeito aos equipamentos que serão submetidos a intervenções e o número de vezes por ano que essas intervenções são realizadas. As manutenções preventivas são previamente agendadas com o cliente para que uma equipa de dois técnicos da empresa Medicineto tenha as condições adequadas para realizar estas intervenções com o mínimo de constrangimento possível para o cliente.

#### 4.1.1 Relatório de manutenção preventiva

No decorrer de uma manutenção preventiva as tarefas são divididas pelos dois técnicos da equipa da Medicineto para um trabalho mais eficiente. Um dos técnicos fica responsável por realizar todos os testes e intervenções necessárias ao equipamento enquanto o outro técnico anota os principais dados de cada equipamento, os resultados dos testes realizados e o material utilizado na manutenção, quando necessário. Toda esta informação é mais tarde utilizada para formular um relatório descrevendo as tarefas e intervenções realizadas em cada equipamento e o seu estado geral. O documento utilizado nas manutenções preventivas para anotar toda a informação necessária está representado na Figura 55.

O quadrado do canto superior direito deste documento está reservado para colocar o nome do cliente/empresa à qual se está a prestar o serviço de manutenção. Na primeira coluna da tabela são colocadas as informações do equipamento em análise: tipo de equipamento, marca, modelo e número de série. Na segunda coluna são anotadas todas as verificações feitas ao equipamento e a descrição de anomalias identificadas. Na terceira coluna são descritos os materiais que foram substituídos ou utilizados na intervenção realizada ao equipamento. Na última coluna será indicado qual o estado geral do equipamento.



Data: ...../...../.....

**Revisão/manutenção de Equipamento de Electromedicina**

Tipo de aparelho	Tipo de avaria	Materiais utilizados na reparação da avaria	Estado de funcionamento:
Aparelho de: Marca: Modelo: Nº série:			Bom <input type="checkbox"/> Razoável <input type="checkbox"/> Mau <input type="checkbox"/> Outro:
Aparelho de: Marca: Modelo: Nº série:			Bom <input type="checkbox"/> Razoável <input type="checkbox"/> Mau <input type="checkbox"/> Outro:
Aparelho de: Marca: Modelo: Nº série:			Bom <input type="checkbox"/> Razoável <input type="checkbox"/> Mau <input type="checkbox"/> Outro:
Aparelho de: Marca: Modelo: Nº série:			Bom <input type="checkbox"/> Razoável <input type="checkbox"/> Mau <input type="checkbox"/> Outro:

Assinatura do prestador de serviço

Assinatura do cliente

-----

-----

Soc. por Quotas, Mat. na C.R.C. de Leiria sob o nº5972 . Cap. Soc. € 5.000,00 . Cont. Nº 504 158 562

*Figura 55 – Ficha de manutenção preventiva*

#### 4.1.2 Equipamento de Ultrassons – PHYSIOSON-Expert

O PHYSIOSON-Expert é um equipamento de emissão de ultrassom terapêutico da marca PHYSIOMED. Este equipamento possui um transdutor de ultrassom de 5 cm<sup>2</sup> com capacidade de emissão de ondas com uma frequência igual a 1 ou 3 MHz [60]. Este equipamento é classificado segundo a norma IEC 60601 com um equipamento de classe I e do tipo BF [8] e o seu funcionamento está descrito no capítulo do estado da arte. Na Figura 56 é apresentado este equipamento.



*Figura 56 – PHYSIOMED PHYSIOSON-Expert*

A primeira verificação a realizar a este equipamento compreende o teste da ligação à terra. Para o efeito é utilizado um multímetro para verificar a continuidade dos condutores do cabo de alimentação. No que concerne à medição da resistência da ligação à terra, utiliza-se um multímetro como ohmímetro sendo medida a resistência entre um ponto de massa do equipamento e o terminal de terra da ficha do cabo de alimentação.

De seguida o equipamento é ligado e é verificado o funcionamento dos botões utilizados para o operar: o botão seletor e o potenciômetro que controla a intensidade de emissão. O correto funcionamento do botão seletor caracteriza-se pela facilidade de rotação para alternar entre os vários parâmetros apresentados no display e pelo “clique” emitido pelo mesmo ao seleccionar um dos parâmetros e assim alterar os valores. O potenciômetro deve permitir um aumento gradual de intensidade de emissão sem causar oscilações.

O principal indicador de um bom estado de funcionamento deste equipamento é a intensidade de emissão de ultrassom. De forma a obter os valores exatos da intensidade de emissão seria necessário um equipamento de medição que a empresa não possui. O método utilizado para verificar a qualidade de emissão de ultrassom consiste em analisar visualmente a intensidade de emissão. Para isso, o equipamento é programado para emitir numa frequência de 1 MHz e com uma intensidade de  $1 \text{ W/cm}^2$ . A parte metálica do transdutor é coberta com álcool etílico e averigua-se a capacidade de elevação de gotículas de álcool, devido ao efeito das ondas de ultrassom, em função da intensidade.

#### **4.1.3 Equipamento de Eletroterapia – IF-Expert**

O PHYSIOMED IF-Expert é um equipamento de eletroterapia de dois canais de emissão de corrente. Este equipamento tem a capacidade de gerar sinais numa vasta gama de frequências, possibilitando realizar tratamentos de baixa de frequência tal como o TENS e também de alta frequência como é o caso das correntes interferenciais. Este equipamento é classificado segundo a norma IEC 60601 como um equipamento de classe I e do tipo BF [8]. Na Figura 57 está representada uma unidade deste equipamento e os seus acessórios.

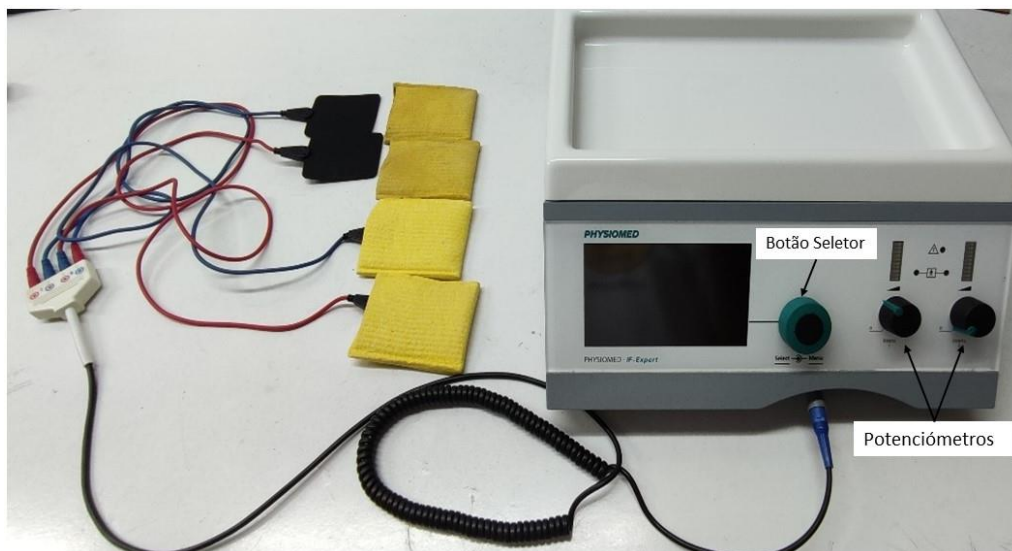


Figura 57 – *PHYSIOMED IF-Expert e acessórios*

Tal como no equipamento de ultrassons, a primeira verificação compreende a medição da resistência da ligação à terra. O processo é exatamente igual ao descrito na secção anterior.

De seguida é verificado o estado de conservação dos acessórios do equipamento, designadamente cabos e eléctrodos. Na inspeção visual do estado dos cabos, verifica-se se existem cortes ou se estão ressequidos. Mesmo que não existam danos aparentes, é necessário verificar a continuidade dos cabos, utilizando um multímetro para o efeito. Nos eléctrodos é também feita uma análise visual para identificar quaisquer danos resultantes dos tratamentos realizados. Os eléctrodos deverão ter uma baixa impedância para que a corrente eléctrica seja transmitida através de toda a superfície do eléctrodo. Para isso é utilizado um multímetro e é medida a resistência eléctrica entre vários pontos de cada eléctrodo. Eléctrodos com valores de impedância acima de aproximadamente 2 k $\Omega$  são substituídos. Esta análise é muito importante pois eléctrodos com um valor de impedância elevado transmitirão a corrente através de uma área menor, o que pode provocar queimaduras no paciente.

Após a verificação de todos os acessórios, o equipamento é ligado e é verificado o funcionamento do seletor, pelo mesmo método descrito na secção anterior. Para verificar o bom estado dos potenciômetros, é ligado a cada um dos canais de saída uma resistência de 500  $\Omega$  [61], de forma a simular um paciente. Durante o teste, a intensidade de corrente é aumentada gradualmente de forma a verificar a ocorrência de oscilações ou picos de corrente, que caso ocorram durante um tratamento a um paciente poderão causar desconforto ou queimaduras em casos extremos.

Finalmente, averigua-se se o valor de corrente de saída apresentada no display do equipamento corresponde ao valor real de corrente emitida. Utilizando um multímetro e colocando o equipamento em modo de correntes galvânica, é medida a intensidade da corrente de saída em ambos os canais.

#### 4.1.4 Hidrocoletor – Chattanooga SS-2

Um hidrocoletor é um equipamento muito utilizado em clínicas de fisioterapia para aquecimento de compressas com o objetivo de as utilizar em tratamentos de termoterapia. Este equipamento pode ser descrito como um depósito de água que é aquecida por uma resistência, controlado por um termostato que regula a temperatura entre 70 °C e 75 °C [62]. Na Figura 58 é apresentado um exemplar de um hidrocoletor SS-2 da marca Chattanooga.



Figura 58 – Hidrocoletor Chattanooga SS-2 [63]

Para além do termostato regulador de temperatura, este equipamento também possui um termostato de segurança. O objetivo deste termostato é limitar o valor da temperatura da água, impedindo-o de ultrapassar valores demasiado elevados, resultante de uma situação em que o termostato regulador de temperatura não esteja na posição certa ou a funcionar corretamente. Na Figura 59 está representado um esquema genérico do circuito elétrico de um hidrocoletor.

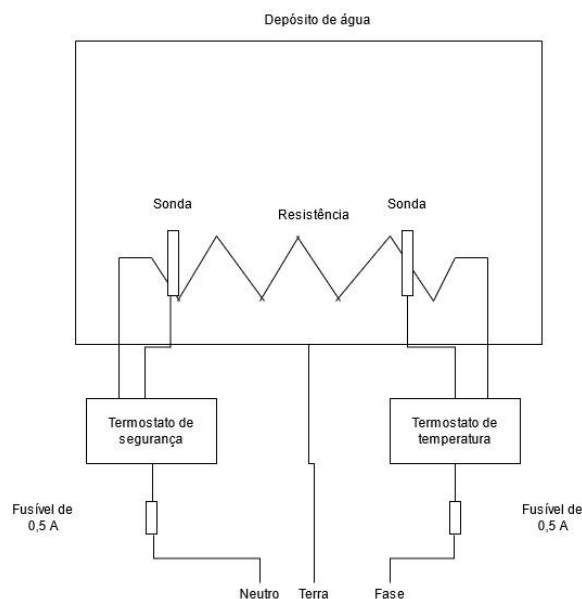


Figura 59 – Esquema genérico do circuito elétrico de um hidrocoletor

A resistência que se encontra dentro do depósito de água é alimentada a 230 V de CA. O termostato de temperatura possui uma sonda que obtém o valor da temperatura de forma que este controle a alimentação da resistência. Este termostato deve ser regulado para que a temperatura da água se mantenha no intervalo de 70 °C a 75 °C. Assim, o termostato de temperatura vai bloquear a passagem de corrente para a resistência assim que a sonda detete um valor de temperatura igual ou superior a 75 °C, voltando a permitir a alimentação da resistência quando o valor da temperatura baixar dos 70 °C. O termostato de segurança tem um funcionamento relativamente diferente, apenas bloqueando a alimentação da resistência quando a temperatura atingir valores demasiado altos. Este valor varia dependendo das características do termostato, no entanto a uma temperatura de 80 °C o termostato de segurança deve ser ativado.

Na Figura 60 é representado um exemplo de tratamento utilizando compressas aquecidas por um hidrocoletor.



*Figura 60 – Tratamento de termoterapia [39]*

As ações de manutenção preventiva realizadas em equipamentos deste tipo são relativamente simples comparativamente aos equipamentos descritos anteriormente. Tendo em conta a simplicidade do equipamento e do seu funcionamento, estas ações podem ser resumidas em três passos:

1. Medir a resistência do condutor terra;
2. Verificar se existem fugas de água;
3. Medir o valor da temperatura da água e verificar se este se encontra nos valores normais.

#### **4.1.5 Intervenções realizadas a equipamentos não médicos**

Algumas das clínicas de fisioterapia a que a Medicineto presta serviços de manutenção preventiva, incluem ao seu serviço alguns equipamentos não médicos utilizados na reabilitação de pacientes. Os exemplos de equipamentos desse tipo englobam: bicicletas, passadeiras e marquesas. As intervenções realizadas a estes equipamentos são bastante simples e por isso são abordadas em conjunto e de uma forma geral nesta secção.

### **Bicicleta Ergométrica**

A utilização da bicicleta ergométrica em fisioterapia tem como objetivo principal a reabilitação dos membros inferiores através do fortalecimento das articulações e dos músculos, que poderá também resultar numa melhoria da saúde dos ossos e ligamentos [64]. Na Figura 61 está representado um exemplo de uma bicicleta utilizada em fisioterapia.



*Figura 61 – Bicicleta Ergométrica [65]*

A intervenção realizada a este equipamento segue o seguinte procedimento:

- Inspeção visual de danos na estrutura que possam comprometer a segurança do paciente;
- Verificação e ajuste do aperto de todos os parafusos;
- Verificação do correto funcionamento do sistema de controlo de esforço;
- Lubrificação das partes móveis.

### **Passadeira**

A passadeira também é bastante utilizada em fisioterapia, principalmente para a realização do treino de marcha. Este treino é destinado a pacientes que tenham perdido alguma capacidade que permita um caminhar normal. O treino de marcha define-se como um conjunto de atividades que visam a aquisição de competências para a deambulação. Os efeitos pretendidos através da utilização da passadeira para o treino de marcha são: melhorar o equilíbrio, melhorar a postura e aprendizagem motora [63]. Na Figura 62 é apresentado um exemplo de um modelo de uma passadeira utilizada em fisioterapia.



*Figura 62 – Passadeira Elétrica utilizada em fisioterapia [67]*

Neste equipamento é realizado o seguinte procedimento de manutenção preventiva:

- Inspeção visual de danos na estrutura que comprometam a segurança do paciente;
- Limpeza do circuito elétrico interno;
- Verificação do correto funcionamento dos sistemas de controlo de velocidade e de inclinação;
- Lubrificação do tapete.

### **Marquesa**

As marquesas são utilizadas pelos profissionais de saúde para posicionar corretamente os pacientes para a realização de tratamentos de medicina desportiva, terapias de relaxamento, massagens terapêuticas e de quiropraxia [65]. O tipo de marquesas mais utilizadas em fisioterapia são aquelas que permitem o ajuste da altura. Estas marquesas possuem um sistema elétrico que permite posicionar o paciente a uma altura que facilite o trabalho do profissional de saúde. Na Figura 63 é apresentado uma marquesa de massagem utilizada em fisioterapia.



*Figura 63 – Marquesa para fisioterapia [69]*

O procedimento de manutenção preventiva intervencionado neste tipo de equipamentos é o seguinte:

- Inspeção visual de danos na estrutura que comprometam a segurança do paciente;
- Verificação e ajuste do aperto de todos os parafusos;
- Lubrificação de todas as partes móveis;
- Verificar o estado dos cabos e ligações do sistema de controlo;
- Teste de força do sistema elevatório.

## 4.2 Tarefas de Manutenção Corretiva

Apesar de todos os esforços colocados em manter os equipamentos sempre operacionais através de manutenção preventiva, podem sempre existir avarias inesperadas. As avarias podem ser de vários tipos e por isso é essencial fazer uma análise profunda de forma a identificar componentes danificados do equipamento e assim descobrir a origem da avaria.

Sendo a Medicineto um representante da marca Physiomed, a empresa possui informação, descrita num manual de serviço, sobre avarias e códigos de erro mais comuns nos equipamentos da marca. Desta forma a equipa técnica poderá identificar o problema e resolvê-lo no menor tempo possível. Neste capítulo são descritos os processos de identificação da origem de uma avaria e a sua reparação em equipamentos e acessórios da marca Physiomed.

### 4.2.1 Reparação de Transdutor de Ultrassons

A avaria mais comum do equipamento PHYSIOSON-Expert está relacionada com o mau funcionamento do transdutor de ultrassom (Figura 5). O motivo de avaria deste acessório pode resultar de várias situações: desgaste do cristal piezoelétrico, infiltração de gel no interior do transdutor, danificação do cabo do transdutor, quedas, etc. Sempre que possível é feita a reparação deste acessório, no entanto a substituição por um transdutor novo é inevitável em alguns casos.

Após a receção do equipamento nas instalações são realizados testes funcionais de forma a obter mais informação e localizar a origem da avaria. O equipamento de ultrassom é ligado e programado para realizar um tratamento. Antes de ser possível iniciar o tratamento, o equipamento irá calibrar o transdutor que estiver conectado. Se a calibração for efetuada com sucesso é possível iniciar o tratamento, caso contrário o equipamento apresenta um erro, aconselhando para substituir ou limpar o transdutor. O equipamento é então programado para emitir ultrassom no modo contínuo com uma intensidade de  $1 \text{ W/cm}^2$  à frequência de 1 MHz. O transdutor de ultrassom é colocado numa tina com água e o tratamento é iniciado, sendo visível a propagação das ondas de ultrassom na água. Durante o tratamento o cabo do transdutor é torcido e se existirem interrupções na continuidade das ondas visíveis na água significa que o cabo do transdutor de ultrassom está danificado.

O primeiro passo do processo de reparação do transdutor é comum a todos os tipos de avarias deste acessório: desmontar o transdutor, separando a sua parte metálica da parte plástica.

De seguida é feita uma análise visual do interior do transdutor, verificando o estado das ligações, o estado do cristal e o nível de sujidade. É feita uma limpeza interna de forma a eliminar sujidades derivadas da utilização de gel nos tratamentos. Na Figura 64 é apresentado o aspeto do interior de um transdutor de ultrassom.



*Figura 64 – Interior do transdutor de ultrassom*

O cristal do transdutor é alimentado através de dois condutores como se pode observar na Figura 64. É verificado o estado das soldaduras que ligam estes dois condutores ao cristal e mede-se a continuidade de cada um dos fios para o pino correspondente da ficha do cabo do transdutor. Assim, é possível tirar conclusões acerca do estado do cabo do transdutor. Quando se verifica que este se encontra danificado é feita a sua substituição por um cabo novo. O processo é idêntico quando se verifica que o cristal piezoelétrico do transdutor está danificado, procedendo-se à sua substituição por um cristal novo. Por vezes tanto o cabo como o cristal são responsáveis pela avaria e é mais vantajoso a aquisição de um transdutor totalmente novo por parte do cliente, evitando custos de mão de obra.

#### **4.2.2 Reparação do Equipamento IONOSON-Expert**

O IONOSON-Expert é um equipamento de ultrassom e eletroterapia da marca PHYSIOMED. Este tipo de equipamentos, que possuem mais do que uma modalidade, são denominados equipamentos combinados. Pode-se descrever este equipamento como a “fusão” do equipamento de ultrassons PHYSIOSON-Expert e do equipamento de eletroterapia IF-Expert, apresentados anteriormente. Este equipamento é classificado segundo a norma IEC 60601 como um equipamento de classe I e do tipo BF [28]. Na Figura 65 é apresentado um exemplar deste equipamento.

Nesta secção são explicadas as avarias mais comuns da componente de eletroterapia deste equipamento. Estas estão relacionadas com os transístores de saída, com os potenciómetros de regulação da intensidade de corrente de saída e com os componentes de alimentação do circuito.



Figura 65 – IONOSON-Expert e acessórios [8]

Após a receção do equipamento, este é ligado para verificar qual o erro que apresenta e assim obter informação sobre qual poderá ser a origem da avaria. É removida a tampa do equipamento como se observa na Figura 66. Nesta figura é possível observar que o equipamento possui duas placas de circuitos, uma para cada modalidade.



Figura 66 – Vista de cima do interior do equipamento IF-Expert

#### 4.2.2.1 Avaria dos transístores de saída

Os códigos de erro apresentados pelo equipamento fornecem informação essencial para a resolução da avaria. Alguns exemplos de códigos de erro que indicam que a avaria está relacionada com os transístores de saída são: ERROR 0 mA CH1, ERROR 50 mA CH1 [61]. Estes transístores são responsáveis pela amplificação da intensidade de corrente de saída para os valores programados pelo fisioterapeuta.

O primeiro passo no processo de reparação é verificar o estado dos fusíveis F1 a F4 e substituir os que estiverem danificados. De seguida são verificados os valores de tensão das alimentações dos transístores. Devem ser medidos nas resistências R114 e R119 os valores - 125 V e + 125 V respetivamente [61]. Ao verificar que os valores das tensões diferem dos valores normais, conclui-se que os transístores estão danificados e a originar a avaria do

equipamento. Os transístores de saída identificados no esquema do circuito por V30, V31, V32 e V33 cujas referências são respetivamente 2N3440, 2N5416, MJ15024 e MJ15025 serão substituídos [61]. Na Figura 67 estão assinalados os transístores de saída.



*Figura 67 – Transístores de corrente de saída*

Neste processo é necessário remover a placa de circuito para poder ter acesso às soldas que fixam os transístores. Os pinos dos transístores são dessoldados da placa e esta é limpa de forma a desobstruir os furos de fixação/soldagem dos componentes. Os novos transístores são colocados e soldados nas suas posições e a placa de circuito é fixada.

Por fim são realizados testes funcionais para se verificar o sucesso da reparação, simulando a realização de um tratamento num paciente. Para o efeito utiliza-se uma resistência de carga, que simula a impedância do paciente, com o valor de  $500\ \Omega$  (duas resistências de  $1\ \text{k}\Omega$  em paralelo) em cada saída de corrente. O equipamento é configurado de forma a se obterem valores de intensidade de corrente muito elevados. Este teste é repetido várias vezes de forma a certificar que o equipamento se encontra a funcionar corretamente.

#### **4.2.2.2 Avaria dos potenciómetros**

Caso o código de erro indique que a avaria está relacionada com o estado de funcionamento de um ou ambos os potenciómetros (Figura 57), estes são substituídos. Alguns exemplos desses códigos de erro são: ERROR CH1 INTENS. ZERO; ERROR CH2 INTENS. ZERO.

Os potenciómetros utilizados nos equipamentos da marca Physiomed são fornecidos pela mesma já com todas as ligações necessárias para a implementação no equipamento. Na Figura 68 é apresentado um potenciómetro de  $10\ \text{k}\Omega$  específico para este equipamento.



*Figura 68 – Potenciómetro de  $10\ \text{k}\Omega$*

Para fazer a substituição é necessário remover o potenciómetro danificado começando por desencaixar a ficha que liga o potenciómetro ao equipamento. Na Figura 69 é observável as fichas do potenciómetro e do equipamento.



Figura 69 – Desencaixe da ficha do potenciómetro

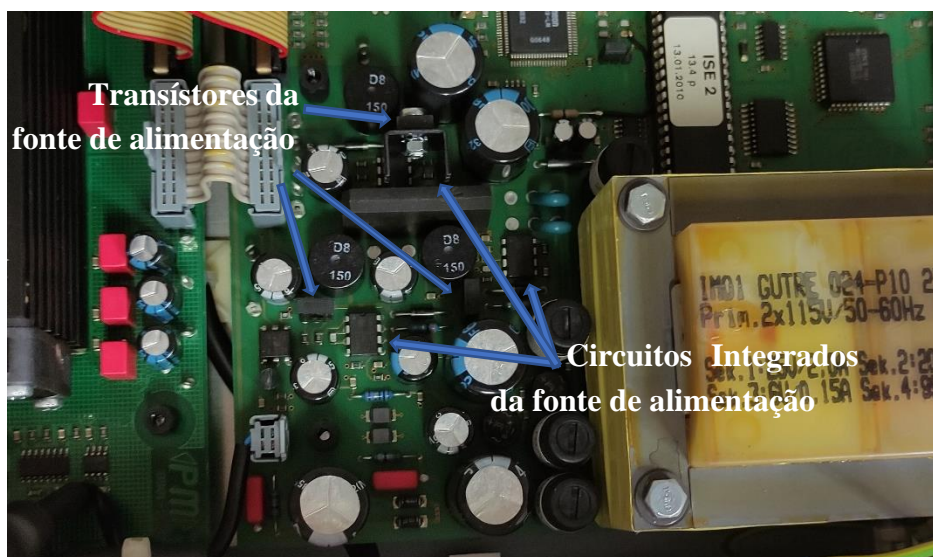
A extração do potenciómetro compreende o seguinte procedimento: primeiramente retira-se a capa de plástico que cobre o botão, de seguida este é desapertado e retirado do equipamento, sendo posteriormente substituído por um potenciómetro novo repetindo-se o mesmo procedimento em ordem inversa.

Por fim são realizados testes funcionais para confirmar o sucesso da reparação através do procedimento descrito na secção anterior.

#### 4.2.2.3 Avaria de componentes da fonte de alimentação do circuito

Uma das avarias mais comuns neste equipamento está relacionada com um funcionamento anormal de componentes da fonte de alimentação do circuito. Estes componentes são três transístores idênticos, representados no esquema do circuito por V4, V8 e V10 com a referência BD140 e três circuitos integrados representados por N1, N2 e N3, com a referência MC34063 [61]. Alguns dos erros de código que fornecem a informação que a avaria se localiza nesta zona do sistema são: I80\_HARD\_ERROR; I80\_SOFT\_ERROR; I80\_HARD\_ERROR CH2; I80\_SOFT\_ERROR CH2.

Estes componentes são responsáveis por fornecer as tensões de alimentação de +5 V, +15 V e -15 V mensuráveis nos pontos TP1, TP2 e TP3 do circuito do equipamento [61]. Após verificar que o código de erro indica um mau funcionamento da fonte de alimentação do sistema, deve-se verificar os valores destas tensões de forma a concluir quais os componentes danificados a serem substituídos. Na Figura 70 estão representados os componentes referidos.



*Figura 70 – Transistores e circuitos integrados da fonte de alimentação*

Após a identificação dos componentes danificados, inicia-se o processo de substituição dos mesmos. É removida a placa do circuito e removidos os componentes danificados dessoldando-os. São limpos os furos de fixação/soldagem dos componentes, desobstruindo-os para a colocação de novos componentes. Estes são soldados e a placa é fixada no seu lugar. Por fim são realizados testes funcionais, seguindo o procedimento descrito em secções anteriores.

### **4.3 Conclusão do Capítulo**

As intervenções de manutenção preventiva e corretiva descritas neste capítulo permitem documentar os problemas mais comuns observados nos equipamentos de fisioterapia dos clientes bem como os processos e métodos de manutenção da empresa Medicineto. O capítulo seguinte apresenta as principais conclusões e algumas recomendações de forma a melhorar estes métodos tendo por base as normas de manutenção analisadas.

## 5 CONCLUSÕES

O estágio na empresa Medicineto foi uma experiência que permitiu um enorme crescimento pessoal e profissional. A aprendizagem realizada, a formação providenciada pela empresa na área de manutenção de equipamentos médicos e o contacto com a realidade do mundo profissional, que em vários aspetos difere da realidade académica, resultou na aquisição de novos conhecimentos e competências.

Durante todo o tempo de estágio foi realizada uma aprendizagem progressiva, em que inicialmente foi estudado o funcionamento dos equipamentos médicos que eram intervencionados pela empresa, participando apenas em tarefas mais simples como o registo das tarefas realizadas durante as intervenções, passando depois, numa fase mais avançada, a desempenhar um papel mais ativo nessas mesmas intervenções, sempre com a presença do técnico da empresa.

Pode-se comprovar pela descrição documentada neste relatório de estágio que os objetivos delineados foram cumpridos:

- Foi obtido um conhecimento aprofundado do funcionamento e das tecnologias dos principais equipamentos médicos utilizados em fisioterapia, assim como das técnicas associadas aos mesmos;
- O estudo realizado acerca das normas mais importantes na manutenção de equipamentos de fisioterapia poderá vir a dar um contributo importante à Medicineto no seu processo de certificação;
- Foi realizada uma aprendizagem profunda dos processos e técnicas de manutenção preventiva e corretiva da Medicineto;
- Foi obtida uma grande experiência prática na reparação de equipamentos médicos de diversas marcas.

Este trabalho permitiu consolidar muitos dos conhecimentos adquiridos ao longo do percurso no ensino superior, tanto na licenciatura em Engenharia Biomédica, como no mestrado em Instrumentação Biomédica.

Conclui-se que foi uma experiência muito positiva e importante para um estudante que pretenda ingressar no mercado de trabalho na área da manutenção de equipamentos médicos.

### 5.1 Propostas de Melhoria

Durante o período de estágio verificou-se que alguns dos processos de gestão da manutenção da empresa podem ser melhorados de forma a integrar toda a informação relativa aos equipamentos médicos, dos clientes, aos quais a Medicineto realiza intervenções. Para isso são apresentadas algumas propostas de melhoria a estes processos tendo por base o trabalho realizado e descrito neste documento:

- Completar a aquisição de equipamentos de teste: equipamento de medição de correntes de fuga; equipamento de medição de intensidade de ultrassom; equipamento de medição de intensidade de emissão *laser*;
- Integrar as medidas relativas ao teste de resistência da ligação terra, teste da resistência de isolamento e teste de medição de correntes de fuga, descritas nas normas IEC 60601 e IEC 62353 em campos específicos da ficha de resultados de teste;
- Desenvolvimento de um programa ou aplicação de registo das ações de manutenção de forma a facilitar o desenvolvimento do relatório a apresentar ao cliente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WCPT, “Description of physical therapy: Policy statement,” *World Confed. Phys. Ther.*, no. appendix 1, pp. 1–12, 2011.
- [2] Associação Portuguesa de Fisioterapeutas, “Áreas de Intervenção.” <http://www.apfisio.pt/o-que-e-a-fisioterapia/areas-intervencao>.
- [3] T. Watson, “Therapeutic Ultrasound”, 2017. <http://www.electrotherapy.org/downloads>.
- [4] “There’s Music Above 20 kHz! – Real HD-Audio”. [https://www.realhd-audio.com/wp-content/uploads/2014/02/ultrasonics\\_chart.jpg](https://www.realhd-audio.com/wp-content/uploads/2014/02/ultrasonics_chart.jpg).
- [5] G. ter Haar, “Therapeutic applications of ultrasound,” Jan. 2007. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2006.07.005.
- [6] G. Ter Haar, “Therapeutic ultrasound”, 1999.
- [7] W. E. Prentice, *Therapeutic Modalities in Rehabilitation*, 2003.
- [8] PHYSIOMED, “Physical therapy”, 2017, [https://www.physiomed.de/fileadmin/Files/Homepage/Download\\_public/Broschueren\\_komplett/b\\_gb\\_GeneralCatalogue\\_Physical\\_Therapy\\_2017-10.pdf](https://www.physiomed.de/fileadmin/Files/Homepage/Download_public/Broschueren_komplett/b_gb_GeneralCatalogue_Physical_Therapy_2017-10.pdf).
- [9] P. Ran, Y. Luo, Z. Li, W. Wang, and Y. Pang, “Design of an ultrasonic physiotherapy system with pulse wave feedback control,” *Technol. Heal. Care*, vol. 25, no. S1, pp. S305–S315, 2017, doi: 10.3233/THC-171334.
- [10] A. Yamamoto, “SONOFOCUS”. [https://ibramed.com.br/site/wp-content/uploads/2019/02/SONOFOCUS\\_ALINE\\_2019.pdf](https://ibramed.com.br/site/wp-content/uploads/2019/02/SONOFOCUS_ALINE_2019.pdf).
- [11] “Rhinoplasty | Plastic Surgery Key”. <https://plasticsurgerykey.com/ultrasound/>.
- [12] “Cavitation Acoustic streaming Ultrasound Acoustics Bubble.”. <https://www.pngegg.com/en/png-kamoj>.
- [13] T. Watson, “Current concepts in electrotherapy,” *Haemophilia*, vol. 8, no. 3, pp. 413–418, 2002, doi: 10.1046/j.1365-2516.2002.00613.x.
- [14] T. Watson, “Key Concepts in Electrotherapy” pp. 1–9, 2014.
- [15] M. Płaza, Z. Szcześniak, and J. Dudek, “Generation of medium frequency electrotherapeutic signals,” *Photonics Appl. Astron. Commun. Ind. High Energy Phys. Exp.* 2017, vol. 10445, p. 104452T, 2017, doi: 10.1117/12.2274764.

- [16] Dr R.S. Khandpur. Handbook of Biomedical Instrumentation, third edition. Physiotherapy and Electrotherapy Equipment, Chapter, McGraw Hill Education (India) Private Limited: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto, 2014.
- [17] M. Johnson, “Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation: Mechanisms, Clinical Application and Evidence,” *Rev. Pain*, vol. 1, no. 1, pp. 7–11, 2007, doi: 10.1177/204946370700100103.
- [18] R. Medical, “How to Compare TENS Units: A Review of 5 Signal Types,” *RS Medical*, 2019. <https://www.rsmedical.com/blog/compare-tens-units-by-signal-type>.
- [19] I. Jones and M. Johnson, “Transcutaneous electrical nerve stimulation,” *Contin. Educ. Anaesthesia, Crit. Care Pain*, vol. 9, pp. 130–135, 2009, doi: 10.1093/bjaceaccp/mkp021.
- [20] M. Johnson, “Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS),” *Pain Med. An Essent. Rev.*, pp. 99–101, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-43133-8\_25.
- [21] “Eletroterapia: o que é e quais são os tratamentos”. <https://blog.shopfisio.com.br/eletroterapia/>.
- [22] “Chinese Medicine Modalities”. <http://drkurtbeil.com/cm-modalities>.
- [23] E. Blake, C. McMakin, D. C. Lewis, N. Buratovich, and D. E. Neary, “Electrotherapy Modalities,” *Naturop. Phys. Med.*, pp. 539–562, 2008, doi: 10.1016/B978-044310390-2.50017-1.
- [24] T. Watson, “Iontophoresis,” no. c, pp. 1–9, 2014.
- [25] “Iontophoresis – A New Skin Care Technology - PhaMix”. <https://phamix.com/2011/03/08/iontophoresis-a-new-skin-care-technology/>.
- [26] T. Watson, “Interferential Therapy (IFT)” pp. 35–38, 2017.
- [27] D. M. Shea Palmer, “Interferential Current”. <https://neupsykey.com/current/>.
- [28] N. Almeida, L. H. Paladini, R. I. G. Korelo, R. E. Liebano, and A. C. B. de Macedo, “Immediate Effects of the Combination of Interferential Therapy Parameters on Chronic Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial,” *Pain Practice*, 2020. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/papr.12888>.
- [29] S. Farivar, T. Malekshahabi, and R. Shiari, “Biological effects of low level laser therapy,” *J. Lasers Med. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 58–62, 2014, doi: 10.22037/2010.v5i2.5540.
- [30] H. B Cotler, “The Use of Low Level Laser Therapy (LLLT) For Musculoskeletal Pain,” *MOJ Orthop. Rheumatol.*, vol. 2, no. 5, pp. 188–194, 2015, doi: 10.15406/mojor.2015.02.00068.

- [31] Physiomed, “LAS- Expert”, 2017.  
[https://www.physiomed.de/fileadmin/Files/Homepage/Download\\_public/Broschueren\\_Auszug/Leaflet\\_LAS\\_Expert.pdf](https://www.physiomed.de/fileadmin/Files/Homepage/Download_public/Broschueren_Auszug/Leaflet_LAS_Expert.pdf).
- [32] S. L. Stanescu and P. D. Cristea, “Simple low level laser therapy device approach,” *2012 19th Int. Conf. Syst. Signals Image Process. IWSSIP 2012*, no. April 2012, pp. 44–47, 2012.
- [33] E. S. Valchinov and N. E. Pallikarakis, “Design and testing of low intensity laser biostimulator,” *Biomed. Eng. Online*, vol. 4, no. May 2014, 2005, doi: 10.1186/1475-925X-4-5.
- [34] “Two plus Four Laser - Light Therapy for you and your pets”.  
<http://www.twoplusfourlasertherapy.com/about>.
- [35] S. V Moskvina and A. A. Khadartsev, *Basic Techniques of Low Level Laser Therapy*, no. April. 2017.
- [36] S. F. Nadler, K. Weingand, and R. J. Kruse, “The physiologic basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner,” *Pain Physician*, vol. 7, no. 3, pp. 395–399, 2004, doi: 10.36076/ppj.2004/7/395.
- [37] I. Har-Kedar and N. M. Bleehen, “Experimental and Clinical Aspects of Hyperthermia Applied to the Treatment of Cancer with Special Reference to the Role of Ultrasonic and Microwave Heating.” .
- [38] “Shortwave Therapy EMS Physio”.  
<https://www.emsphysio.co.uk/knowledgebase/shortwave-therapy/>.
- [39] “Quais são os equipamentos necessários para fazer termoterapia”.  
<https://blog.carcioficial.com.br/equipamentos-para-termoterapia/>.
- [40] A. Mirea, “Deep Oscillation ® Our Experience Concerning the Use of Deep Oscillation in the Therapy of Osteoarthritis,” pp. 2–5, 2007.
- [41] “Johnsen–Rahbek effect”. [https://en.wikipedia.org/wiki/Johnsen–Rahbek\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Johnsen–Rahbek_effect).
- [42] P. DeLeon, “A Systematic Review of Deep Tissue Oscillation and a Study Proposal of Its Effects on Geriatric Bedridden Patients With Lower Extremity Lymphedema,” no. May 2016, 2016.
- [43] T. F. O. R. Therapy, “Evident Aesthetics.”
- [44] PHYSIOMED, “Deep Oscillation,” *Physiomed*, vol. 52, no. 55, p. 10.
- [45] “EN 13306:2010, Maintenance - Maintenance terminology,” 2010.
- [46] I. Fonseca, “Fiabilidade.”, Apontamentos das aulas da Unidade Curricular de Manutenção de Equipamentos e Instalações, ISEC, 2020.

- [47] “Manutenção Preditiva: Definição e Vantagens • Infraspak Blog.” <https://blog.infraspak.com/pt-pt/o-que-e-manutencao-preditiva/>.
- [48] D. E. A. G. Cisneros, “Estudo de teorias de manutenção.” <https://www.monografias.com/pt/trabalhos3/estudo-teorias-manutencao-tipos-tendencias/estudo-teorias-manutencao-tipos-tendencias2.shtml>.
- [49] J. M. T. Farinha, “UMA ABORDAGEM TEROLÓGICA DA MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS HOSPITALARES,” 1994.
- [50] M. D. E. De Eletromedicina, A. Silva, and F. Moreira, “Manutenção de Equipamentos de Eletromedicina,” 2019.
- [51] I. F. M. Leite, “Implementação de planos de manutenção e de certificação em equipamentos biomédicos,” 2017. <http://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/23029>.
- [52] IPQ, “A Importancia da Normalizacao,” 2017. [http://www1.ipq.pt/pt/normalizacao/a\\_importancia\\_da\\_normalizacao/Pages/A-Importancia-da-Normalizacao.aspx](http://www1.ipq.pt/pt/normalizacao/a_importancia_da_normalizacao/Pages/A-Importancia-da-Normalizacao.aspx).
- [53] IPQ, “Beneficios da Normalização”. [http://www1.ipq.pt/pt/normalizacao/a\\_importancia\\_da\\_normalizacao/beneficios da normalizacao/Pages/Beneficios-da-Normalizacao.aspx](http://www1.ipq.pt/pt/normalizacao/a_importancia_da_normalizacao/beneficios_da_normalizacao/Pages/Beneficios-da-Normalizacao.aspx).
- [54] H. S. Organization, “Why Health Care Standards Matter.” <https://healthstandards.org/standards/why-standards-matter/>.
- [55] Rigel Medical, “A Practical Guide to IEC 60601-1,” 2007.
- [56] A. Santos, “Desenvolvimento de Dispositivo de Ultra-Som para Medicina Física e Reabilitação,” pp. 1–112, 2010.
- [57] V. Umbelino, “Manutenção de equipamentos de eletromedicina e hospitalares – Estágio no CHUC,” 2017.
- [58] I. E. Comission, “IEC 62353: Medical electrical equipment — Recurrent test and test after repair of medical electrical equipment,” 2014.
- [59] Rigel Medical, “A Practical Guide to IEC 62353,” 2007.
- [60] PHYSIOMED, “PHYSIOSON-Expert”. [http://www.physiomed.bg/manual/PHYSIOSON\\_Expert.pdf](http://www.physiomed.bg/manual/PHYSIOSON_Expert.pdf)
- [61] PHYSIOMED, “Service Manual PHYSIOMED-IF-Expert,” 2019. [http://www.frankshospitalworkshop.com/equipment/documents/electrotherapy/service\\_manuals/Physiomed\\_Expert2\\_-\\_Service\\_manual.pdf](http://www.frankshospitalworkshop.com/equipment/documents/electrotherapy/service_manuals/Physiomed_Expert2_-_Service_manual.pdf).
- [62] M. Fyfe, “Skin Temperature, Colour, And Warmth Felt, In Hydrocollator Pack Applications To The Lumbar Region,” *Aust. J. Physiother.*, vol. 28, no. 1, pp. 12–15, 1982, doi: 10.1016/S0004-9514(14)60761-3.

- [63] 3D Scientific, “Unidades de aquecimento”.  
[https://www.3bscientific.com.es/pt/unidades-de-aquecimento-e-resfrio,pg\\_938.html](https://www.3bscientific.com.es/pt/unidades-de-aquecimento-e-resfrio,pg_938.html).
- [64] C. Bruce, “5 benefícios da bicicleta ergométrica para a saúde,” 2020.  
<https://www.tuasaude.com/beneficios-da-bicicleta-ergometrica/>.
- [65] “Bicicleta Ergométrica - Kikos - Bike 3015 - CenterMedical”.  
<https://www.centermedical.com.br/bicicleta-ergometrica-bike-3015-kikos/p>.
- [66] F. Oeiras, “Treino de Marcha,” 2021.  
<https://www.fisioterapiaoeiras.com/servicos/fisioterapia/treino-de-marcha>.
- [67] “Passadeira de Correr BH Vanquish fitnessdigital.”  
<https://www.fitnessdigital.pt/passadeira-de-correr-bh-vanquish/p/10008993/>.
- [68] M. Expo, “Que mesa de massagem escolher?” <https://guide.medicaexpo.com/pt/como-escolher-uma-mesa-de-massagem/>.
- [69] “Medical Express Plasticina terapêutica - Produtos para profissionais da área médica/saúde.” <https://www.medicaexpress.net/marquesas-para-fisioterapia-40777-.html>.



## ANEXO A – EXEMPLO DE FICHA DE RESULTADOS DE TESTE

Testing organisation:	Test before putting into service (reference value) <input type="checkbox"/>		
Name of testing person:	Recurrent test <input type="checkbox"/>		
	Test after repair <input type="checkbox"/>		
<b>Responsible organization:</b>			
<b>Equipment:</b>	ID-Number:		
Type:	Production No./Serial Nr.:		
Manufacturer:	Class of protection:	I	II Battery
Applied part type: 0 B BF CF	Mains connection: <sup>1)</sup>	PIE	NPS DPS
Accessories:			
<b>Test:</b>	Complies:		
Measurement equipment:	Yes	No	
Visual inspection:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Measurements:	measured value		
Protective earth resistance	_____ Ω	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Insulation resistance (according to Figure ___ )	_____ MΩ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Equipment leakage current (according to Figure ___ )	_____ mA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Applied partleakage current (according to Figure ___ )	_____ mA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Leakage current (based on IEC 60601-1)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Functional test (parameters tested):		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## **ANEXO B – NORMAS APLICÁVEIS A EQUIPAMENTOS DE FISIOTERAPIA**

- IEC 60601-1: Equipamento elétrico para medicina - Parte 1: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial;
- IEC 60601-1-1: Equipamento elétrico para medicina - Parte 1-1: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial; Norma Colateral: Requisitos de Segurança para Sistemas Elétricos de Medicina;
- IEC 60601-1-2: Equipamento elétrico para medicina - Parte 1-2: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial; Norma Colateral: Compatibilidade Eletromagnética – Requisitos e Testes;
- IEC 60601-1-4: Equipamento elétrico para medicina - Parte 1-4: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial; Norma Colateral: Requisitos Para Sistemas Médicos Elétricos Programáveis;
- IEC 60601-1-6: Equipamento elétrico para medicina - Parte 1-6: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial; Norma colateral – Aptidão ao uso;
- IEC 60601-1-11: Equipamento elétrico para medicina - Parte 1-11: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial; Norma colateral: Requisitos para equipamentos elétricos para medicina e sistemas elétricos para medicina usados em cuidados de saúde no domicílio;
- IEC 60601-2-3: Equipamento elétrico para medicina; Parte 2-3: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial dos equipamentos de terapia de ondas curtas;
- IEC 60601-2-5: Equipamento elétrico para medicina - Parte 1-4: Requisitos Particulares para a Segurança do Equipamento de Ultrassom para Fisioterapia;
- IEC 60601-2-6: Equipamento elétrico para medicina; Parte 2-6: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial dos equipamentos de terapia com micro-ondas;
- IEC 60601-2-10: Equipamento elétrico para medicina; Parte 2-10: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial para estimuladores de nervos e músculos;
- IEC 60601-2-22: Equipamento elétrico para medicina - Parte 2-22: Requisitos particulares para segurança básica e desempenho essencial de equipamento laser para aplicações cirúrgicas, cosméticas, terapêuticas e de diagnóstico.